

# 高原地区 CASS 工艺处理城镇污水的生产性调试

郭劲松, 潘颖雅, 王春燕, 贾丽, 杨国红  
(重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

**摘要:**高原地区的污水处理工艺调试具有低温低压低氧的不利条件。香格里拉城市污水处理厂二期扩建采用 CASS 工艺。针对当地气温、气压、进水浓度低的特点,通过调整曝气方式、合理控制溶解氧、保温培养活性污泥等方法,探讨了设计参数与运行工况不匹配的情况下达到系统稳定运行的技术途径。当进水水质为: COD<sub>Cr</sub>: 50.0~164.0 mg/L, SS: 30.0~123.0 mg/L, TN: 7.0~82.6 mg/L, NH<sub>3</sub>-N: 1.9~39.2 mg/L, TP: 0.6~3.2 mg/L, 出水水质为: COD<sub>Cr</sub>: 10.0~49.0 mg/L, SS: 5.0~22.0 mg/L, TN: 3.4~22.7 mg/L, NH<sub>3</sub>-N: 0.9~11.1 mg/L, TP: 0.1~1.8 mg/L 时,各项水质指标均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级 B 标准。根据调试研究的结果提出了今后运行的建议。

**关键词:** CASS 工艺; 低温; 低浓度; 溶解氧; 调试

中图分类号: X703 文献标志码: A 文章编号: 1674-4764(2009)04-0112-05

## Productive Commissioning of CASS Process Treating Sewage in Plateau Region

GUO Jin-song, PAN Ying-ya, WANG Churryan, JIA Li, YANG Guo-hong

(Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing, 400045, P. R. China)

**Abstract:** Productive commissioning of treating sewage in plateau region has the features of low temperature, low atmosphere pressure and low oxygen concentration. The CASS process was applied in the expansion of wastewater treatment plant in Shangri-La. Aiming at the low air temperature and low atmosphere pressure and the low concentration of influent, several approaches, such as adjusting the aeration mode compatibly, controlling the contents of dissolved oxygen and cultivating active sludge with warm maintenance, were studies for system stable operation under the condition of mismatch between design parameters and operation mode. With the field test, when the water quality of influent was: COD<sub>Cr</sub>: 50.0~164.0 mg/L, SS: 30.0~123.0 mg/L, TN: 7.0~82.6 mg/L, NH<sub>3</sub>-N: 1.9~39.2 mg/L, TP: 0.6~3.2 mg/L, the quality of effluent was: COD<sub>Cr</sub>: 10.0~49.0 mg/L, SS: 5.0~22.0 mg/L, TN: 3.4~22.7 mg/L, NH<sub>3</sub>-N: 0.9~11.1 mg/L, TP: 0.1~1.8 mg/L, in which the standard of the level B in class I were achieved according to Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant (GB18918-2002).

**Key words:** CASS process; low temperature; low concentration; dissolved oxygen; commissioning

SBR(Sequencing Batch Reactor)是序批式间歇活性污泥法的简称,其生物反应过程及泥水分离过程结合在一个池子中完成<sup>[1]</sup>。CASS工艺是SBR的

改进工艺,反应池由生物选择区、兼氧区和主反应区组成,采用连续进水,间断排水方式运行<sup>[2]</sup>。

香格里拉污水厂地处高原地区,冬季进水水温

收稿日期: 2009-04-15

基金项目: 重庆市重大科技专项(CST C2007A B7023); 教育部科学研究重大项目(308020)

作者简介: 郭劲松(1963),男,教授,博士生导师,主要从事水污染控制理论与技术研究。(E-mail) guo0768@cqu.edu.cn.

在 8℃以下, CASS 池中水温在 9℃以下; 夏季进水温大部分在 14℃以下, CASS 池中水温在 15℃左右, 常年水温较低。低温对活性污泥增殖速率、微生物的活性、活性污泥的絮凝沉降性能、充氧效率、以及水的粘度都有影响。因此, 低温下的污水生物处理工艺的调试和运行一直是目前污水处理工艺调试中的难点之一。针对低温调试, 有学者采用投加粪便水增加污水营养<sup>[3]</sup>、使用连续进水方式<sup>[4]</sup>、调整优化工艺参数<sup>[5]</sup>等方法, 能保证污水处理工程的正常启动。然而, 香格里拉地处高原地区, 污水处理工艺除受低温影响较大外, 其高原地区的低气压低氧含量条件给污水厂工艺调试也带来一定的难度, 而目前国内外尚鲜见报道同时具备低温低气压低氧含量污水厂工艺的调试。

经过 2 个月的启动和试运行研究, 成功地实现了 CASS 工艺活性污泥培养和工艺系统调试, 积累了一些经验, 可供今后在高原地区的低温、低浓度 CASS 工艺生产性运行参考。研究也同时表明, CASS 工艺具有较宽的温度适宜范围, 较适合低温地区城市污水处理。

## 1 材料与方法

### 1.1 工艺流程

香格里拉县位于云南省西北部, 平均海拔 3 280 m, 县城全年最高气温 25.4℃, 最低气温 - 27.4℃。香格里拉城市污水处理厂设计规模为 10 000 m<sup>3</sup>/d, 主要收集处理迪庆州香格里拉县城的城市污水, 处理出水排至纳帕海水域。其中一期工程已于 2001 年建成, 处理规模为 5 000 m<sup>3</sup>/d。二期扩建工程采用 CASS (Cyclic Activated Sludge System) 工艺, 处理规模为 5 000 m<sup>3</sup>/d, 于 2007 年 12 月投入试运行。其工艺流程图见图 1。

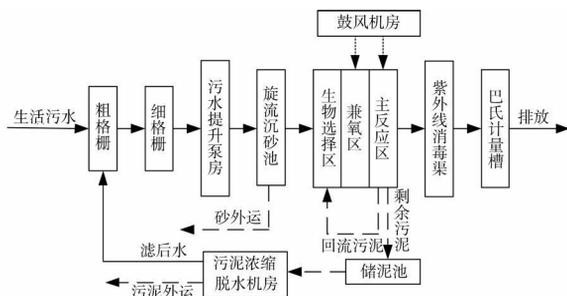


图 1 香格里拉污水处理厂工艺流程示意图

### 1.2 进出水水质

设计出水水质执行国家《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)<sup>[6]</sup>中的一级 B 标准。设计进出水水质见表 1:

表 1 设计进出水水质

指标	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>4</sub> <sup>+</sup> -N/ (mg·L <sup>-1</sup> )	TP/ (mg·L <sup>-1</sup> )
设计进水水质	260	130	200	30	-	3
设计出水水质	≤60	≤20	≤20	≤20	≤8(15)	≤1
去除率/%	76.9	84.6	90.0	33.3	-	66.7

括号外数值为水温 > 12℃时的控制指标, 括号内数值为水温 ≤ 12℃时的控制指标。

### 1.3 主要工艺参数

二期扩建工程增加的构筑物为: 1 座旋流沉砂池, 2 座 CASS 生化池, 1 座紫外线消毒渠, 1 座巴氏计量槽。生化池设计流量: 5 000 m<sup>3</sup>/d, 平均分为 2 池。系统总污泥龄: 33 d (夏季: 14 d); MLSS 浓度: 2.5~ 4.3 g/L (最高液位); 污泥负荷: 0.031~ 0.060 kg BOD<sub>5</sub>/kg MLSS·d。

设计运行方式: 每池循环运行一个周期为 4 h, 即曝气 2 h, 沉淀 1 h, 排水 1 h, 每天 6 个周期。

### 1.4 采样时间及分析方法

调试的时间为: 2008 年 5 月- 6 月。水样取样时间固定在每天上午 9 时, 进水的取样位置为提升泵站后、沉砂池前的配水渠; 出水的取样位置为巴氏计量槽。由于厂内 DO、MLSS 在线监测系统未完成校准, DO 测试采用便携式分析仪测试, MLSS 采用取样进行测试。CASS 工艺为连续进水, 其反应池的水位在曝气和沉淀运行阶段会随时间推移而逐渐上升, 因此运行过程中实际运行容积是变化的, MLSS、DO 等指标都会随着曝气时间而变化。因此 DO 测试与 MLSS 取样时间为曝气周期结束前 10 min。

各项指标的测试方法如表 2。

表 2 指标的测试方法

指标	测试方法 <sup>[7]</sup>
COD <sub>Cr</sub>	快速消解法
BOD <sub>5</sub>	稀释接种法
TN	过硫酸钾氧化紫外分光光度法
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	纳氏试剂比色法
TP	钼酸铵分光光度法
pH	雷磁 PHBJ-260 便携式酸度计
DO	雷磁 607 型便携式溶解氧分析仪

## 2 调试研究

### 2.1 运行方式的确定

在调试中, 发现实际进水质变化很大, 浓度低

且接近设计出水水质,与设计进水水质的取值有较大差别。水温范围为 11.6~15.5 °C,平均值为 13.38 °C,  $\text{NH}_3\text{-N}$  出水标准采用  $\leq 8 \text{ mg/L}$ 。

设计水质与实际进水水质见表 3。

表 3 设计水质与实际进水水质

指标	$\text{COD}_{\text{Cr}}/$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\text{SS}/$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\text{TN}/$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\text{NH}_3\text{-N}/$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	$\text{TP}/$ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )
设计进水水质	260	200	30	-	3
实际进水水质	50.0~ 164.0	30.0~ 123.0	7.0~ 82.6	1.9~ 39.2	0.6~ 3.2
平均进水水质	98.4	79.4	28.2	12.1	1.8
设计出水水质	$\leq 60$	$\leq 20$	$\leq 20$	$\leq 8$	$\leq 1$

CASS 池的原设计运行周期是 4 h,曝气时间为 2 h,沉淀 1 h,排水 1 h。但在实际调试中发现进水浓度比设计值低很多。进水指标的设计值与实际值不符的情况较常见。而污水生化处理的供氧量与处理水量和水质有关<sup>[8-10]</sup>,有必要根据实际进水量和浓度调整运行参数。供氧量可以通过曝气量和曝气时间进行调整。此次调试中,在保证出水水质的情况下采取减少曝气时间的方式,同时也能够节省曝气能耗。

由于 CASS 工艺的反硝化功能主要是在停止曝气阶段及曝气过程中使污泥絮体内部处于缺氧状态而实现,为了提高脱氮效率,增加了停曝期的搅拌阶段。其功能在于为反硝化过程创造良好的混合环境。在停曝搅拌阶段,虽经曝气后混合液中有有机底物已基本被氧化,反硝化的作用并不十分显著,但与设计的基本运行方式相比,由于其全部混合液均进行反硝化,因而有利于提高总体脱氮效果。

经调试探索,最终确定的污水厂实际运行周期仍是 4 h(每天 6 个周期),每周期各阶段时间分配为曝气(40 min)一停曝搅拌(40 min)一曝气(40 min)一沉淀(1 h)一排水(1 h)。

## 2.2 溶解氧的控制

CASS 池具有同步硝化和反硝化功能,是通过控制主反应区的曝气强度使主体溶液处于好氧状态,而活性污泥絮体内部处于缺氧状态实现的<sup>[1]</sup>。因此反应器中溶解氧浓度控制十分重要。反应池内必须有足够的溶解氧维持微生物生理活动。DO 太低会抑制微生物的生理活动<sup>[11]</sup>,DO 太高易导致有机污染物分解过快,同时由于进水 COD 浓度偏低,从而使微生物缺乏营养,过量的供氧易于使活性污

泥自身氧化,结构松散。一般而言,处于高原地区的污水生物处理,因海拔高而空气中的氧含量低<sup>[12]</sup>,由于溶解氧不足可能造成对硝化作用的抑制,微生物中硝化细菌生长极其缓慢,氨氮的去除不好,出水氨氮偏高。因此必须维持一定的溶解氧浓度。

在影响微生物生理活动的各项因素中,温度的作用非常重要<sup>[5][13-15]</sup>。根据微生物学的理论,温度在 15 °C 以上微生物活性正常,低于 15 °C 活性下降,低于 10 °C 明显下降,低于 4 °C 其生理活性极低。所以温度低将对污泥活性产生很大影响,有机物和其他污染物的降解率明显下降,对硝化反应影响则更大。曾有学者研究低温环境下污水厂的调试运行,发现采用对户外设备进行保温处理<sup>[5]</sup>、生物强化技术<sup>[3]</sup>等方法能减少低温对调试的不利影响。

香格里拉全年水温偏低,即使在全年最高温的夏季,进出水水温大部分在 14 °C 以下,CASS 池中水温在 15 °C 左右,较低的水温减缓了微生物的新陈代谢速度,给活性污泥的正常增殖带来影响进而影响了出水的效果。

针对温度偏低的问题,二期扩建的生化池已建保温棚,以减少温度的损失。因为气温比水温低,曝气量越大,水的热量损失就越大。所以在实际运行中,应通过适当减少曝气以避免不必要的热量损失。尤其在活性污泥培养驯化初期,微生物量少,氧的消耗量也少,如果按照正常运行时的曝气量供给,会形成过量曝气,不但会造成能量的浪费,也会导致不必要的热量损失。控制溶解氧能减少低温的不利影响。

香格里拉污水厂由于进水水质浓度较设计值低很多,水中的营养物质不足以维持设计浓度下微生物的消耗,极易造成过氧化。在调试人员进厂前,已经投加过一次接种污泥,但由于营养不足,没有及时调整生化池的溶解氧,污泥迅速老化死亡。根据上述分析并经多次试验,污泥培养阶段将溶解氧控制在 1.0 mg/L 左右,获得了较好的稳定运行效果。这与一般情况下宜将出水溶解氧控制在 2 mg/L 左右有所不同。

## 2.3 污泥培养过程

活性污泥培养,主要是积累处理过程中所需微生物的量,分为直接培养法和接种污泥法。根据当地气温水温低的实际情况,采用直接培养法耗时较长,因此采用接种污泥法。接种污泥来自丽江污水处理厂的剩余污泥,污泥培养阶段采用满载培养。污泥投加在格栅前的集水井处。将接种污泥经由生活污水稀释后进入格栅井。采用连续进水,以实际全额流量的进水量进行培养。由于进水浓度远低于

设计值, 不适合微生物生长, 需要补充碳源。在污泥培养成功前, 每天投加粪便于格栅前的集水井, 以增加进水浓度, 加快微生物生长。

培养过程采用 2.1 节确定的运行周期(曝气—停曝搅拌—曝气—沉淀—排水)。由于进水浓度很低且培养初期污泥絮体很少(初始 MLSS 约 500 mg/L), 不利于微生物生长, 于 5 月 20 日开始投加粪便, 投加频率为每天 2 车(每车约 6 m<sup>3</sup>)。在污泥培养的过程中, 设备安装、系统检修及厂区停电等客观原因造成的污水厂停运, 影响了污泥培养进度。5 月 23 日生化池的污泥由于停运出现轻度缺氧现象。表现为进水水质正常情况下, 池面部分区域有黑色的浮泥。启动过程中于 5 月 26 日开始看到明显絮体, 二期的两个生化池 MLSS 在 700 mg/L 左右。6 月 11 日, CASS 池污泥浓度分别为 3 180 mg/L (SVI<sub>30</sub> 为 12%), 3 450 mg/L (SVI<sub>30</sub> 为 16%), 两个 CASS 池的 MLSS 处于正常范围, SVI<sub>30</sub> 值均超过 10%, 说明污泥培养工作已基本完成。

进水水质浓度低, 污水中的营养物质少, 污泥浓度也必须相应降低, 但污泥浓度的减少会造成活性污泥系统的稳定性及抗冲击能力的下降。为此, 在污泥培养成功后, 不排泥继续提高 MLSS 以考察不同工况的处理效果。初期的生化池出水效果非常好。但在 1 个星期后, 污泥出现解体, 表现为 CASS 池上清液有微小污泥絮体, 影响了出水 SS。污泥浓度高, 虽然可因污泥的吸附作用, 在运行初期产生短效的高去除效果。但毕竟污水中营养物浓度低, 污泥不能维持正常的新陈代谢, 会逐渐老化解体, 因而实际上高浓度污泥时系统并不稳定。通过有计划的排泥, 重新调整污泥浓度, 根据实际调试情况, 最终将 MLSS 控制 3 000 mg/L 左右, 出水效果和运行均比较稳定。

### 2.4 调试结果

经过调试至 6 月 19 日, 二期生化池出水均达到了设计要求, 能稳定运行, 调试完成。调试期间的进出水质见图 2, 二期生化池出水水质如下见表 4。

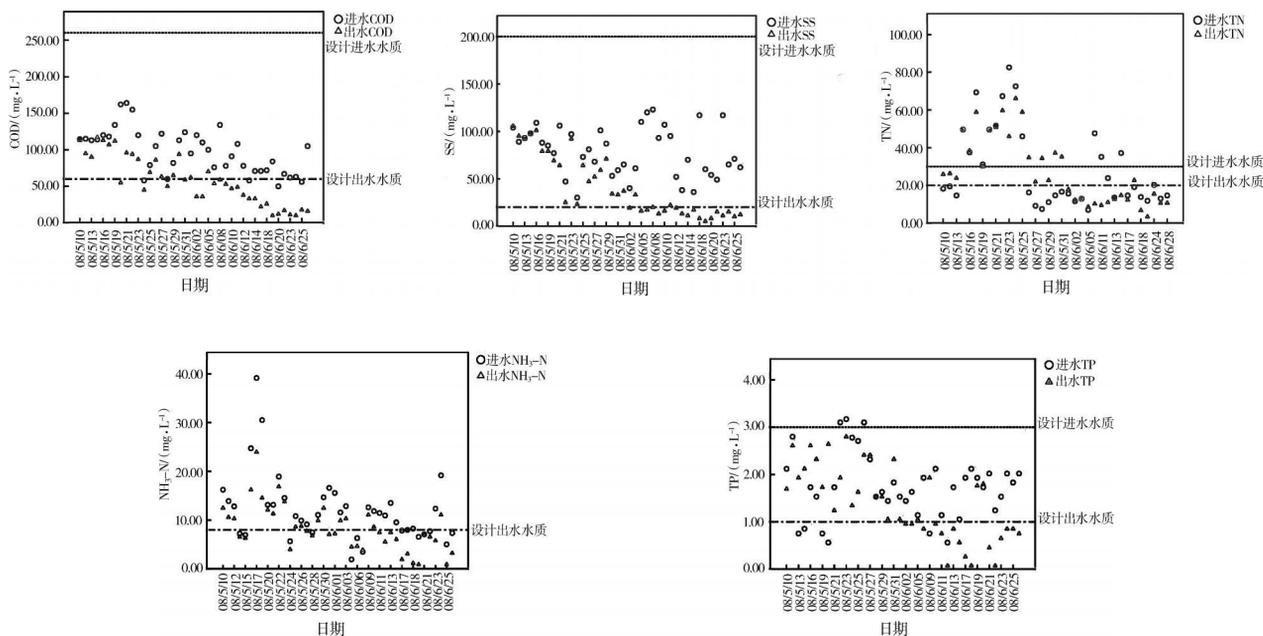


图 2 调试期间的进出水质

表 4 二期生化池出水水质(6 月 11 日~ 6 月 26 日)

指标	COD <sub>Cr</sub> / (mg·L <sup>-1</sup> )	SS / (mg·L <sup>-1</sup> )	TN / (mg·L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N / (mg·L <sup>-1</sup> )	TP / (mg·L <sup>-1</sup> )
生化池 出水水质	10.0~ 49.0	5.0~ 22.0	3.4~ 22.7	0.9~ 11.1	0.1~ 1.8
达标率 / %	100.0	92.3	81.8	92.3	85.7
去除率 / %	43.1~ 88.1	52.8~ 93.2	6.8~ 73.3	2.0~ 86.3	8.8~ 96.7

## 3 今后运行的建议

### 1) 提高进水浓度

由于香格里拉常住人口不多以及雨雪水、地下水渗入等原因, 导致污水厂进水营养物质浓度很低, 与设计值相差较大, 造成微生物繁殖所需的营养源不足。这是活性污泥培养驯化周期较长的原因之一, 同时增加了污水厂实际运行操作的难度。此次调试采取投加粪便的方式提高营养物浓度。但实际长期运行中应加强县城管网的建设和维护, 提高生活

污水的收集量,使进水浓度及水量更接近设计要求。

### 2) 灵活调节工艺参数

控制 CASS 池主反应区的溶解氧浓度,能提高出水脱氮效果,减少温度低的不利影响。溶解氧与空气中氧的分压、水温、水深等的因素有关,应灵活控制供氧量、曝气时间等参数。香格里拉污水厂进水的流量水质波动频繁,工艺运行过程中必须通过水质监测数据来调节工艺参数,目前的情况下,建议按照:曝气(40 min) — 停曝搅拌(40 min) — 曝气(40 min) — 沉淀(1 h) — 排水(1 h) 运行,溶解氧宜控制在 1.0~ 1.5 mg/L。

### 3) 系统的日常维护

在活性污泥培养的过程中,除了客观原因造成的停产外,全部按设计的自动控制程序进行。调试过程中出现了电气、自控、机械设备和管路系统的故障,主要问题有:当地电压不稳定;曝气管路漏气;生化池在线监测探头位置偏低;滗水器频率不合适等,调试过程中,针对上述问题均进行了及时的检修和调整,使实际操作运行更为合理。

此外,由于此次调试过程中的水量与设计水量相符,不存在水量调节的问题,但在日后的运行中,污水提升泵还应根据进水量来调整运行泵的搭配。并及时制定合理的厂内操作维护手册、进行系统的日常维护,并确定高效的巡逻制度,以便及时发现运行中的异常情况而采取相应措施。

## 4 结 语

在对污水厂进行调试之前,应对城市的实际排水量和进厂水质、水量做详细的调查与分析,然后制定合理的调试方案,并根据实际情况选择恰当的调试方法。

工艺运行过程中必须根据指标的测试结果灵活地调节溶解氧、排泥量、回流比等工艺参数。根据调试结果:香格里拉污水厂按照曝气(40 min) — 停曝搅拌(40 min) — 曝气(40 min) — 沉淀(1 h) — 排水(1 h) 运行,MLSS 控制 3000 mg/L 左右,出水效果和运行均可比较稳定。

高原地区的低温低浓度调试,比起常温下生物处理调试难度更大,溶解氧的控制尤为关键,溶解氧宜控制在 1.0 mg/L 左右。针对高原地区水温低、气温低、高原缺氧等环境污水处理工艺设计时应优先考虑受水温、气温影响较少,抗冲击负荷能力强的工艺。CASS 工艺具有较宽的温度适宜范围,在高原地区有一定的适应性。

## 参考文献:

- [ 1 ] 沈耀良, 王宝贞. 废水生物处理新技术 理论与应用 [M]. 2 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [ 2 ] KIRKWOOD, S. Yannawa wastewater treatment plant (Bangkok, Thailand): design, construction and operation[J]. Water Science and Technology, 2004, 50 (10): 221-228.
- [ 3 ] 郭静波, 马放, 赵立军, 等. 佳木斯东区污水处理厂 SBR 工艺的低温快速启动[J]. 给水排水, 2007(5): 13-17.  
GUO JING BO, MA FANG, ZHAO LI JUN, et al. Rapid start up of SBR biological process under low temperature in Jiamusi Eastern District Wastewater Treatment Plant[J]. Water & Wastewater Engineering, 2007(5): 13-17.
- [ 4 ] 王长生, 傅金祥. 抚顺污水处理厂活性污泥培养驯化与启动调试[J]. 给水排水, 2003(4): 6-11.  
WANG CHANG SHENG, FU JIN XIANG. Acclimation of activated sludge of fushun WWTP[J]. Water & Wastewater Engineering, 2003(4): 6-11.
- [ 5 ] 王然, 黄继国, 黄国鑫, 等. CAST 工艺的低温活性污泥培养与调试运行[J]. 中国给水排水, 2007(18): 89-91.  
WANG RAN, HUANG JI GUO, HUANG GUO XIN, et al. Low-temperature activated sludge culture and debugging operation of CAST [J]. China Water & Wastewater, 2007(18): 89-91.
- [ 6 ] GB 18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准[S]. 北京: 中国环境出版社, 2005.
- [ 7 ] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [ 8 ] 韩志胜, 刘玉, 江雄志. 石家庄市桥东污水厂 A/O 脱氮工艺的调试和优化[J]. 中国给水排水, 2007(12): 96-98.  
HAN ZHIF SHENG, LIU YU, JIANG XIONG ZHI. Commissioning and optimization of A/O denitrification process in Shijiazhuang Qiaodong Wastewater Treatment Plant[J]. China Water & Wastewater, 2007 (12): 96-98.
- [ 9 ] 王涛, 熊艾玲, 邓荣森, 等. 山东禹城污水处理厂主体工艺调试经验与分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2004 (2): 129-133.  
WANG TAO, XIONG AILING, DENG RONG SEN, et al. Adjusting experience and analysis of primary treatment process in Yucheng Sewage Treatment Plant, Shandong [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2004(2): 129-133.
- [ 10 ] NING W, WU H, LIU Q. Technological process debugging for three ditch type oxidation ditch [J]. Technology of Water Treatment, 2007, 33(5): 78-81.

(下转第 122 页)

- [ 2 ] ALEJANDRO H. CARAVELLI, LEDA GIANNUZZI, NOEMÍ E. ZARITZKY. Reduction of hexavalent chromium by *Sphaerotilus natans* a filamentous microorganism present in activated sludges [ J ]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, 156( 1-3 ): 214-222.
- [ 3 ] MENG FAN-GANG, YANG FENG-LIN, XIAO JING-NI, et al. A new insight into membrane fouling mechanism during membrane filtration of bulking and normal sludge suspension [ J ]. *Journal of Membrane Science*, 2006, 285( 1-2 ): 159-165.
- [ 4 ] LI JIAN-FENG, LI YAO-ZHONG, DIEUDONNÉ-GUY OHANDJA, et al. Impact of filamentous bacteria on properties of activated sludge and membrane fouling rate in a submerged MBR [ J ]. *Separation and Purification Technology*, 2008, 59(3): 238-243.
- [ 5 ] EDYTA FIŁKOWSKA, AGNIESZKA PAJDAK-STÓŚ. The role of *Lecane* rotifers in activated sludge bulking control [ J ]. *Water Research*, 2008, 42( 10-11 ): 2483-2490.
- [ 6 ] JACQUELINE HEARD, EMMA HARVEY, BRUCE B. JOHNSON, et al. The effect of filamentous bacteria on foam production and stability [ J ]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2008, 63(1): 21-26.
- [ 7 ] NAYEF Z. AL-Mutairi, Aerobic selectors in slaughterhouse activated systems: A preliminary investigation [ J ]. *Bioresource Technology*, 2009, 100: 50-58.
- [ 8 ] VAIPOULOU, E, MELIDIS, P, AIVASIDIS, A. An activated sludge treatment plant for integrated removal of carbon, nitrogen and phosphorus [ J ]. *Desalination*, 2007, 211( 1-3 ): 192-199.
- [ 9 ] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 [ M ]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002, 53-74.
- [ 10 ] JOANNA SURMACZ-GORSKA, KRZYSTOF GEMAEY, CAR DEMUYNCK. Nitrification Monitoring in Activated Sludge by Oxygen Uptake rate ( OUR ) Measurements [ J ]. *Wat. Research*, 1996, 30( 5 ): 1228-1236.
- [ 11 ] CHUDOBA J, OTTOVÁ, MADERA V. Control of activated sludge filamentous bulking Effect of the hydraulic regime or degree of mixing in an aeration tank [ J ]. *Water Research*, 1973, 7: 1163-1182.

(编辑 胡玲)

(上接第 116 页)

- [ 11 ] 霍艳. ICEAS 工艺在污水处理厂中的运行控制实践 [ J ]. *给水排水*, 2008(7): 40-43.  
HUO YAN. The practice of operation and control of ICEAS Process in Wastewater Treatment Plant [ J ]. *Water & Wastewater Engineering*, 2008(7): 40-43.
- [ 12 ] 李德生, 程国栋. 青藏高原地区低温生活污水的深度处理 [ J ]. *化工学报*, 2008, 59(4): 1001-1007.  
LI DE-SHENG, CHENG GUO-DONG. Advanced treatment of cold domestic sewage in Qinghai Tibet Plateau [ J ]. *Journal of Chemical Industry and Engineering*, 2008, 59( 4 ): 1001-1007.
- [ 13 ] ALVAREZ J, RUIZ I, GOMEZ M, et al. Start-up alternatives and performance of an UASB pilot plant treating diluted municipal wastewater at low temperature [ J ]. *Bioresource Technology*, 2006, 97( 14 ): 1640-1649.
- [ 14 ] VALLES-MORALES M J, MENDOZA-ROCA J A, BESPÍA A, et al. Nitrogen removal from sludge water with SBR process: start up of a full scale plant in the municipal wastewater treatment plant at Ingolstadt, Germany [ J ]. *Water Science and Technology*, 2004, 50( 10 ): 51-58.
- [ 15 ] WOLMARANS B, DE VILLIERS G. Start up of a UASB effluent treatment plant on distillery wastewater [ J ]. *Water S. A.*, 2002, 28( 1 ): 63-68.
- [ 16 ] KUANG W, YIN F, SUN S, et al. Application of upflow anaerobic sludge blanket process to a brewery wastewater treatment [ J ]. *China Water & Wastewater*, 2006, 22( 16 ): 62-62.

(编辑 陈蓉)