

## 运行与管理

## 长期低负荷运行对污水生物除磷的影响

毕学军<sup>1</sup>, 张波<sup>1</sup>, 丁曰堂<sup>2</sup>, 高廷耀<sup>3</sup>

(1. 青岛建筑工程学院 环境工程系, 山东 青岛 266033; 2. 李村河污水处理厂, 山东 青岛 266000; 3. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092)

**摘 要:** 长期低负荷运行是导致城市污水处理厂生物除磷效率降低的主要原因。低负荷下的好氧延时曝气使聚磷菌细胞内的聚  $\beta$ -羟基丁酸(PHB) 含量下降, 导致磷的吸收速率和吸磷量下降, 从而无法有效地吸收细胞外的磷酸盐合成聚磷, 最终丧失生物除磷能力。通过有效地调整曝气系统不仅可以降低运行费用, 而且可以保证生物处理系统的稳定性, 提高生物除磷的效率。

**关键词:** 城市污水; 低负荷; 生物除磷; 延时曝气

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2002)07-0083-03

生物除磷的效率和稳定性受多种因素影响<sup>[1]</sup>。据报道某些城市污水处理厂在降雨后或周末经常发生周期性的生物除磷效率下降, 这可能是由于处理系统负荷过低造成的, 但到底是由于除磷菌受到抑制还是进水 COD 浓度较低尚不清楚, 而 Ternmink 等人<sup>[2]</sup>则认为这是由于聚磷菌细胞内的 PHB 部分或全部消失引起的。

对于国内新建的大部分具有脱氮除磷功能的城市污水处理厂, 由于短期内进入污水处理厂的水量或水质远低于设计处理能力而使其生化处理单元的污泥有机负荷远低于设计值, 污水处理厂长期处于低负荷运转状态, 通常表现为生物除磷功能丧失。

## 1 试验方法

### 1.1 装置

试验在青岛李村河污水处理厂进行, 该厂一期工程采用 UCT 工艺, 设计处理能力为  $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$

(2/3 为工业废水、1/3 为生活污水), 生化反应池总停留时间为 21 h, 非曝气容积比为 0.35, 污泥回流比为 70% ~ 100%, 好氧混合液回流比为 100% ~ 200%, 缺氧混合液回流比为 100%。小试系统模拟生产运行工艺, 反应池容积为 77.4 L, 理论水力停留时间达 18 h, 流程如图 1 所示。

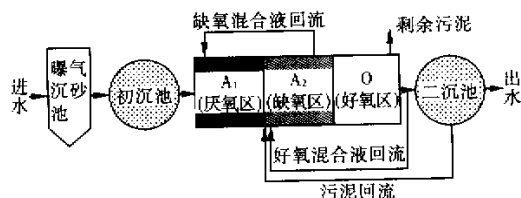


图 1 工艺流程

### 1.2 废水水质及分析方法

以该污水处理厂实际进水为研究对象, 其水质见表 1 (指标分析按照标准方法进行)。

表 1 废水水质

| COD (mg/L) | 溶解性 COD (mg/L) | NH <sub>3</sub> -N (mg/L) | NO <sub>3</sub> -N (mg/L) | TKN (mg/L) | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P (mg/L) | TP (mg/L) | SS (mg/L) | pH   |
|------------|----------------|---------------------------|---------------------------|------------|-----------------------------------------|-----------|-----------|------|
| 1 526      | 339            | 51.9                      | 0.4                       | 128.3      | 6.5                                     | 10.3      | 253       | 7.47 |

注: 表中数据为 24 h 的平均值。

2 结果与讨论

通过长期的生产运行发现该污水处理厂出水中除磷超标外,其余指标均可接近或达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中的一级标准,其出水水质见表 2。

为探究造成出水中磷超标的原因,在污水处理厂的生化反应池内分别取样测定  $\text{NH}_3-\text{N}$ 、 $\text{NO}_3-\text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  含量,其变化过程见图 2。

表 2 出水水质

| COD<br>(mg/L) | $\text{NH}_3-\text{N}$<br>(mg/L) | $\text{NO}_3-\text{N}$<br>(mg/L) | TKN<br>(mg/L) | $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$<br>(mg/L) | TP<br>(mg/L) | SS<br>(mg/L) | pH  |
|---------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|---------------------------------------|--------------|--------------|-----|
| <100          | <10                              | <15                              | <10           | 3~7                                   | 3~7          | <30          | 6~8 |

注：表中数据为长期运行的平均值。

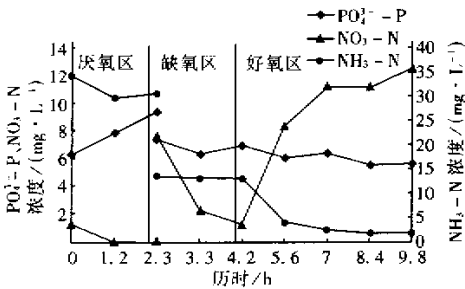


图 2 生产系统生化反应过程

由于该污水处理厂实际进水量仅为设计处理水量的 1/2,因此其生化反应理论水力停留时间达 42 h,但由于污泥回流、好氧混合液回流、缺氧混合液回流的影响,实际水力停留时间仅为 9.8 h,所以在此以进生在生化反应池内的实际水力停留时间作为生化反应历时。

以同期进行的小试为平行对比,其生化反应的理论水力停留时间为 18 h,实际水力停留时间为 5.25 h,非曝气容积比为 0.5,缺氧区占非曝气容积的 2/3,其他参数与生产工艺完全相同, $\text{NH}_3-\text{N}$ 、 $\text{NO}_3-\text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  含量的变化过程见图 3。

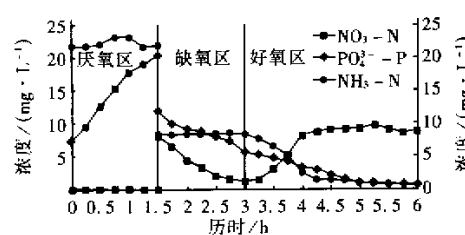


图 3 小试系统生化反应过程

由图 2 可知,该污水处理厂生产系统处于低负荷运行状态,其污泥有机负荷为  $0.106 \text{ kgCOD}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ 。在厌氧区由缺氧混合液回流所携带的  $\text{NO}_3-\text{N}$  利用进水中的易降解有机物进行反硝化,同时聚磷菌利用易降解有机物进行厌氧释磷(在厌氧反应结束时释磷量仅为  $3 \text{ mg/L}$ )。由厌氧区转入缺氧区后由于回流污泥及好氧混合液回流的稀释作用使  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  下降到  $6.4 \text{ mg/L}$ ,而由回流污泥及好氧混合液回流所携带的  $\text{NO}_3-\text{N}$  在此进行反硝化反应,至缺氧结束时反硝化反应尚未进行彻底(剩余  $\text{NO}_3-\text{N}$  为  $1.4 \text{ mg/L}$ ),在此阶段  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  略有下降。由缺氧区进入好氧区后在有机物氧化的同时进行硝化反应使  $\text{NH}_3-\text{N}$  浓度迅速下降,但随着反应的进行硝化速率降低, $\text{NO}_3-\text{N}$  浓度伴随硝化反应的进行而不断上升, $\text{NO}_3-\text{N}$  的增加量与  $\text{NH}_3-\text{N}$  的减少量基本呈对应关系,而  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  并未出现明显的下降,也就是说聚磷菌在好氧条件下并未进行大量的吸磷反应,这与厌氧条件下释磷量较少有关。

由图 3 可知,小试系统污泥有机负荷为  $0.222 \text{ kgCOD}/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ ,此时在厌氧区聚磷菌利用进水中的易降解有机物进行厌氧释磷(释磷量达  $13 \text{ mg/L}$ )。由厌氧区转入缺氧区后同样由于回流污泥及好氧混合液回流的稀释作用使  $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  下降到  $11.5 \text{ mg/L}$ ,随后聚磷菌利用由回流污泥及好氧混合液回流所携带的  $\text{NO}_3-\text{N}$  进行吸磷,同时进行反硝化反应。由缺氧区进入好氧区后聚磷菌继续进行吸磷反应直至反应结束( $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$  接近于零),在此阶段有机物氧化与硝化反应进行得也较彻底。

对比图 2、3 可知,相同工艺的两个反应系统在不同负荷条件下除磷能力迥异,其主要是低负荷运行导致的好氧延时曝气使细胞内的储存物质(特别是 PHB)发生变化,而使 PHB 被部分或全部消耗掉的原故,而细胞内的糖原(Glycogen)在好氧条件下的转化因受 PHB 数量减少的影响而降低,由于糖原的减少进而影响到厌氧条件下磷的释放及对挥发性脂肪酸的吸收,PHB 的合成亦进一步减少,总之由于生物除磷在好氧条件下的吸磷速率和吸磷量受细胞内 PHB 含量的影响,PHB 的减少导致磷吸收速率和吸磷量的下降,使聚磷菌无法有效地吸收细胞

外的磷酸盐合成聚磷,周而复始导致生物除磷能力丧失<sup>[3~5]</sup>。

3 结论与建议

现场生产性试验与小试对比结果表明,长期低负荷运行是导致生物除磷效率下降的主要原因。在低负荷运行条件下的好氧延时曝气使聚磷菌细胞内的 PHB 含量下降,导致磷吸收速率和吸磷量的下降,从而使聚磷菌无法有效地吸收细胞外的磷酸盐合成聚磷,最终导致生物除磷能力丧失。

由于延时曝气对生物除磷会产生不利影响,所以在城市污水处理厂应适当控制曝气量、有效地调节曝气系统,这样不仅可以节省能量、降低运行费用,而且进一步保证了生物处理系统运行的稳定性,同时可为好氧同步反硝化创造良好的环境条件,降低回流系统携带的 NO<sub>3</sub> - N 量,减少前置反硝化的碳源消耗,降低聚磷菌与反硝化菌对碳源的竞争,为聚磷菌提供充足的碳源以保证生物除磷对碳源的需求,最终提高了生物除磷的效率。

参考文献：

· 技术交流 ·

处理高浓度漂染废水的水解酸化—接触氧化—混凝气浮工艺

漂染废水浓度高、水质波动大、有机污染严重,同时由于染料品种的变化及化学浆料的大量使用使废水含大量难生物降解有机物,因此处理这种废水的难度较大,现介绍水解酸化—接触氧化—混凝气浮工艺。

工艺流程见图 1。

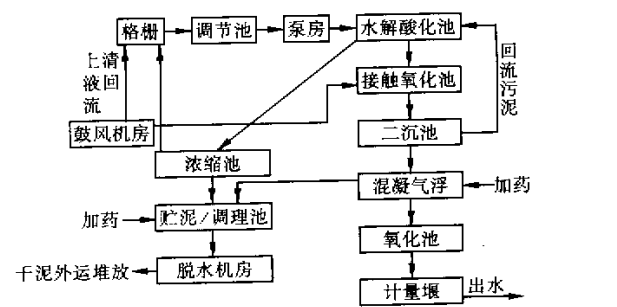


图 1 漂染废水处理工艺流程图

[1] Smolders G J F,Loosdrecht van M C M,Heijnen J J. Stoichiometric model of the aerobic metabolism of the biological phosphorus removal process [J]. Biotechnol Bioengng,1994,6(44) 837-848.

[2] Ternmink H,Petersen B,Isaacs S,et al. Recovery of biological phosphorus removal after periods of low organic loading[J]. Wat Sci Tech,1996,34(1/2) 1-8.

[3] Smolders G J F,Meij J van der,Loosdrecht van M C M, et al. Model of the aerobic metabolism of the biological phosphorus removal process ;stoichiometric and pH influence[J]. Biotechnol Bioengng,1994,a(43) 461-470.

[4] Murnleitner E,Kuba T,Loosdrecht van M C M,et al. An integrated metabolic model for the aerobic and denitrifying biological phosphorus removal [J]. J Environ Engng (ASCE),1997,56 876-883.

[5] Brdjanovic D,Slamet A,Loosdrecht van M C M. Impact of excessive aeration on biological phosphorus removal from wastewater[J]. Wat Res,1998,32(1) 200-208.

电话 :(0532)5073644  
收稿日期 2001-11-20

江宁市某漂染厂在生产过程中排放废水约 2 500 m<sup>3</sup>/d,其水质指标为 :pH=8~9,COD=1 000 mg/L,BOD<sub>5</sub>=350 mg/L,SS=300 mg/L,色度为 250 倍。设计出水水质要求达到国家《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287-92),即 pH 值为 6~9,COD≤100 mg/L,BOD<sub>5</sub>≤30 mg/L,SS≤300 mg/L,色度≤50 倍。

装置运行一个月后的监测平均值如表 1 所示。

表 1 监测结果

| 指标 | COD(mg/L) | BOD <sub>5</sub> (mg/L) | 色度(倍) | pH  |
|----|-----------|-------------------------|-------|-----|
| 进水 | 1 000     | 350                     | 250   | 8~9 |
| 出水 | 68        | ≤10                     | 30    | 7.5 |

一年多的运行表明,该处理工艺抗冲击负荷能力强、运行稳定、处理效果较好,各项出水水质指标均优于设计要求,适于在印染行业推广应用。

(兗矿鲁南化肥厂 石金田 张士金 供稿)