



CECS 149 :2003

---

中国工程建设标准化协会标准

# 城市污水生物脱氮除磷 处理设计规程

Specification for design of nitrogen and phosphorus  
removal in activated sludge system

中国工程建设标准化协会标准

# 城市污水生物脱氮除磷 处理设计规程

Specification for design of nitrogen and phosphorus  
removal in activated sludge system

**CECS 149 : 2003**

主编单位:上海市政工程设计研究院

批准单位:中国工程建设标准化协会

施行日期:2 0 0 3 年 6 月 1 日

## 前 言

根据中国工程建设标准化协会(97)建标协字 06 号《关于下达 1997 年推荐性标准编制计划的函》的要求,制订本规程。

随着经济建设的发展,我国一些地方的水体富营养化已成为水污染的重要问题,采用生物脱氮除磷工艺进行污水处理刻不容缓。

在编制本规程的过程中进行了深入的调查研究,认真总结了我国生物脱氮除磷技术的研究成果及工程设计、应用等方面的实践经验,同时借鉴了国外的相关标准。

根据国家计委计标[1986]1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》,现批准协会标准《城市污水生物脱氮除磷处理设计规程》,编号为 CECS 149:2003,推荐给工程建设设计、施工、使用单位采用。本规程由中国工程建设标准化协会城市给水排水委员会 CECS/TC8 归口管理,由上海市政工程设计研究院(上海市中山北二路 901 号,邮编 200092)负责解释。在使用过程中,如发现需要修改和补充之处,请将意见和资料径寄解释单位。

**主编单位:**上海市政工程设计研究院

**参编单位:**深圳罗芳污水处理厂、广州大学、青岛市排水管理处、余姚市浙东给排水机械设备厂

**主要起草人:**朱广汉 陆嘉竑 邹利安 张朝升 李禄田  
刘如玲 朱纪明

中国工程建设标准化协会

2003 年 4 月 15 日

# 目 次

1 总则 .....	( 1 )
2 术语、符号 .....	( 2 )
2.1 术语 .....	( 2 )
2.2 符号 .....	( 3 )
3 一般规定 .....	( 5 )
4 缺氧/好氧法(A/O法)、厌氧/好氧法(A/O法)和 厌氧/缺氧/好氧法(A/A/O法) .....	( 6 )
5 序批式活性污泥法(SBR法) .....	(10)
本规程用词说明 .....	(12)
附:条文说明 .....	(13)

# 1 总 则

**1.0.1** 为使城市污水生物脱氮除磷处理的设计做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量,制订本规程。

**1.0.2** 本规程适用于有脱氮、除磷或同时有脱氮、除磷要求,采用缺氧/好氧法(A/O法)、厌氧/好氧法(A/O法)、厌氧/缺氧/好氧法(A/A/O法)和序批式活性污泥法进行(SBR法)城市污水处理的新建、扩建和改建工程设计。与城市污水水质类似的工业废水处理设计,可参照执行。

**1.0.3** 城市污水生物脱氮除磷处理工艺的设计,除应遵守本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语、符号

### 2.1 术 语

#### 2.1.1 厌氧 anaerobic

污水生物处理工艺中,没有溶解氧和硝态氮的环境状态。

#### 2.1.2 缺氧 anoxic

污水生物处理工艺中,没有溶解氧或溶解氧不足但有硝态氮的环境状态。

#### 2.1.3 生物硝化 bio-nitrification

污水生物处理工艺中,在好氧状态下,硝化菌将氨氮氧化成硝态氮的过程。

#### 2.1.4 生物反硝化 bio-denitrification

污水生物处理工艺中,在缺氧状态下,反硝化菌将硝态氮还原成氮气,以去除污水中氮的过程。

#### 2.1.5 混合液回流 mixed liquid recycle

将好氧池中混合液回流至缺氧池,以增加供反硝化脱氮的硝态氮的过程。

#### 2.1.6 生物除磷 biological phosphorus removal

采用活性污泥法处理污水时,将活性污泥交替在厌氧和好氧条件下运行,使能过量积聚磷酸盐的聚磷菌占优势生长,从而达到活性污泥含磷量比普通活性污泥高的过程。污泥中聚磷菌在厌氧条件下放出磷,在好氧条件下摄取更多的磷,经过排放含磷量高的剩余污泥,与普通活性污泥法相比可去除污水中更多的磷。

#### 2.1.7 缺氧/好氧法(A/O法) anoxic/oxic process

采取缺氧、好氧状态交替处理,以提高总氮去除率的污水处理方法。

### 2.1.8 厌氧/好氧法(A/O法) anaerobic/oxic process

采取厌氧、好氧状态交替处理,以提高磷去除率的污水处理方法。

### 2.1.9 厌氧/缺氧/好氧法(A/A/O法) anaerobic/anoxic/oxic process

采取厌氧、缺氧、好氧状态交替处理,以提高总氮和磷去除率的污水处理方法。

### 2.1.10 序批式活性污泥法(SBR法) sequencing batch reactor

在同一个反应器中,依次进行进水、反应、沉淀和排水等工序的污水处理方法。

### 2.1.11 充水比 fill ratio

序批式活性污泥法的一个工艺周期中,进入反应池的污水量与反应池有效容积之比。

### 2.1.12 总凯氏氮 total kjeldahl nitrogen(TKN)

有机氮(负三价)和氨氮含量之和。

### 2.1.13 总氮 total nitrogen(TN)

有机氮、氨氮和硝态氮含量之和。

### 2.1.14 总磷 total phosphorus(TP)

正磷酸盐、焦磷酸盐、偏磷酸盐、多聚磷酸盐和有机磷酸盐含量之和。

### 2.1.15 好氧泥龄 oxic sludge age

活性污泥在好氧池中的平均停留时间。

### 2.1.16 泥龄 sludge age

活性污泥在整个反应池中的平均停留时间。

## 2.2 符 号

$a$ ——碳的氧当量;

$b$ ——常数,其含义为氧化每公斤氨氮所需的氧量( $\text{kgO}_2/\text{kgN}$ );

- $b_h$ ——异养菌内源衰减系数( $d^{-1}$ );
- $c$ ——常数,其含义为细菌细胞的氧当量;
- $L$ ——污泥负荷( $kgBOD_5/(kgMLSS \cdot d)$ );
- $N_a$ ——反应池中氨氮浓度( $mg/L$ );
- $N_{ki}$ ——反应池进水总凯氏氮浓度( $mg/L$ );
- $N_{ke}$ ——反应池出水总凯氏氮浓度( $mg/L$ );
- $N_{oe}$ ——反应池出水硝态氮浓度( $mg/L$ );
- $N_{ti}$ ——反应池进水总氮浓度( $mg/L$ );
- $N_{te}$ ——反应池出水总氮浓度( $mg/L$ );
- $S_i$ ——反应池进水五日生化需氧量( $BOD_5$ )浓度( $mg/L$ );
- $S_e$ ——反应池出水五日生化需氧量( $BOD_5$ )浓度( $mg/L$ );
- $t$ ——反应池混合液平均温度( $^{\circ}C$ );
- $V$ ——反应池容积( $m^3$ );
- $X$ ——反应池混合液浓度( $kg MLSS/m^3$ );
- $X_i$ ——反应池进水中悬浮固体浓度( $mg/L$ );
- $Y$ ——污泥净产率系数( $kg SS/kg BOD_5$ );
- $\theta_d$ ——反应池设计泥龄值( $d$ )。



### 3 一般规定

3.0.1 仅需脱氮时,可采用缺氧/好氧法(A/O法)或低负荷序批式活性污泥法(SBR法);仅需除磷时,可采用厌氧/好氧法(A/O法)或高负荷序批式活性污泥法(SBR法);需同时脱氮除磷时,可采用厌氧/缺氧/好氧法(A/A/O法)或序批式活性污泥法(SBR法)。

3.0.2 在进入生物脱氮除磷系统前应设预处理工序,包括除砂、去除漂浮物及浮渣。

3.0.3 脱氮时,污水中的五日生化需氧量( $BOD_5$ )与总凯氏氮(TKN)含量之比宜大于4。

3.0.4 脱磷时,污水中的五日生化需氧量( $BOD_5$ )与总磷(TP)含量之比宜大于17。

3.0.5 需同时脱氮除磷时,宜同时满足第3.0.3和3.0.4条的要求。

3.0.6 设计时应充分考虑冬季低水温对脱氮除磷的影响。

3.0.7 好氧池剩余碱度宜大于 $70\text{mg/L}$ (以 $\text{CaCO}_3$ 计)。当进水碱度不满足上述要求时,可增加缺氧池容积或布置成多段缺氧/好氧形式,或增加原污水的碱度。

3.0.8 好氧池供氧设计时,池内溶解氧宜按 $1.5\sim 2.5\text{mg/L}$ 计算。

3.0.9 采用生物除磷工艺处理污水时,剩余活性污泥宜采用机械浓缩。

3.0.10 对生物除磷工艺的剩余活性污泥采用厌氧消化时,输送厌氧消化污泥或污泥脱水滤液的管道应有除垢措施。对含磷量高的液体,宜先除磷再回入集水池。

## 4 缺氧/好氧法(A/O法)、厌氧/好氧法(A/O法)和厌氧/缺氧/好氧法(A/A/O法)

4.0.1 反应池容积可按平均日污水量进行设计。

4.0.2 厌氧池容积可按下列公式计算：

$$V_{a1} = \frac{T_{a1} \cdot Q}{24} \quad (4.0.2)$$

式中  $V_{a1}$ ——厌氧池容积( $m^3$ )；

$T_{a1}$ ——厌氧池停留时间(h)，宜采用1~2h；

$Q$ ——进水流量( $m^3/d$ )。

4.0.3 厌氧池应采用机械搅拌，缺氧池宜采用机械搅拌，混和功率宜采用5~8W/ $m^3$ ，应选用安装角度可调的搅拌器。

4.0.4 缺氧池容积可按下列公式计算：

$$V_{a2} = \frac{0.001Q(N_{ki} - N_{te}) - 0.12W_m}{k_{de}X} \quad (4.0.4-1)$$

$$W_m = \frac{Q(S_i - S_e)}{1000} f(Y_h - \frac{0.9b_h Y_h f_t}{\frac{1}{\theta_d} + b_h f_t}) \quad (4.0.4-2)$$

$$k_{de(t)} = k_{de(20)} 1.08^{t-20} \quad (4.0.4-3)$$

式中  $V_{a2}$ ——缺氧池容积( $m^3$ )；

$X$ ——反应池混合液浓度(kgMLSS/ $m^3$ )；

$N_{ki}$ ——反应池进水总凯氏氮浓度(mg/L)；

$N_{te}$ ——反应池出水总氮浓度(mg/L)；

$W_m$ ——排出系统的微生物量(kg/d)；

$S_i$ 、 $S_e$ ——反应池进水、出水五日生化需氧量( $BOD_5$ )浓度(mg/L)；

$b_h$ ——异养菌内源衰减系数( $d^{-1}$ )，取0.08；

$\theta_d$ ——反应池设计泥龄值(d);

$Y_h$ ——异氧菌产率系数(kgSS/kgBOD<sub>5</sub>),取0.6;

$f$ ——污泥产率修正系数,通过试验确定,无条件试验时取0.8~0.9;

$f_t$ ——温度修正系数,取 $1.072^{(t-15)}$ ;

$t$ ——温度(°C);

$k_{de}$ ——反硝化速率kgNO<sub>3</sub>-N/(kgMLSS·d),通过试验确定;如无试验条件,20°C时 $k_{de}$ 值可采用0.03~0.06kgNO<sub>3</sub>-N/(kgMLSS·D),并用式(4.0.4-3)进行温度校正;

$k_{de(t)}$ 、 $k_{de(20)}$ —— $t$ °C和20°C时的反硝化速率。

#### 4.0.5 好氧池容积可按下列规定计算:

##### 1 硝化菌比生长率可按下式计算:

$$\mu = 0.47 \frac{N_a}{K_N + N_a} e^{0.098(t-15)} \quad (4.0.5-1)$$

式中  $\mu$ ——硝化菌比生长率(d<sup>-1</sup>);

$N_a$ ——反应池中氨氮浓度(mg/L);

$K_N$ ——硝化作用中氮的半速率常数(mg/L)。

##### 2 反应池中活性污泥好氧泥龄最小值可按下式计算:

$$\theta_m = \frac{1}{\mu} \quad (4.0.5-2)$$

式中  $\theta_m$ ——好氧泥龄最小值(d)。

##### 3 反应池设计泥龄可按下式计算:

$$\theta_d = F \cdot \theta_m \quad (4.0.5-3)$$

式中  $\theta_d$ ——反应池设计泥龄值(d);

$F$ ——安全系数,取1.5~3.0。

##### 4 污泥净产率系数可按下式计算:

$$Y = f(Y_h - \frac{0.9b_h Y_h f_t}{\frac{1}{\theta_d} + b_h f_t} + \psi \frac{X_i}{S_i}) \quad (4.0.5-4)$$

式中  $Y$ ——污泥净产率系数；

$\phi$ ——反应池进水悬浮固体中不可水解/降介的悬浮固体比例，通过测定求得，无测定条件时，取 0.6；

$X_i$ ——反应池进水中悬浮固体浓度(mg/L)。

5 好氧池容积可按式计算：

$$V_0 = \frac{Q(S_i - S_e)\theta_d Y}{1000X} \quad (4.0.5-5)$$

式中  $V_0$ ——好氧池容积(m<sup>3</sup>)。

4.0.6 混合液回流量可按式计算：

$$Q_r^n = \frac{1000V_{a2}k_{de}X}{N_{te} - N_{ke}} - Q_r \quad (4.0.6)$$

式中  $Q_r^n$ ——混合液回流量(m<sup>3</sup>/d)；

$Q_r$ ——回流污泥量(m<sup>3</sup>/d)；

$N_{ke}$ ——反应池出水总凯氏氮浓度(mg/L)。

4.0.7 在确定泥龄时，应综合考虑脱氮除磷的要求。当以脱氮为主要目的时，可适当延长泥龄；当以除磷为主要目的时，可适当缩短泥龄；需同时脱氮除磷时，应综合考虑泥龄的影响。

4.0.8 好氧池的需氧量可根据去除的 BOD<sub>5</sub> 量和氮量等计算确定。实际供氧量应考虑进水水量和进水水质的波动以及反应池混合液温度等因素的影响。好氧池的需氧量可按式计算：

$$O_2 = 0.001aQ(S_i - S_e) + b[0.001Q(N_{ki} - N_{ke}) - 0.12W_m] - cW_m - 0.62b[0.001Q(N_{ti} - N_{ke} - N_{oe}) - 0.12W_m] \quad (4.0.8)$$

式中  $O_2$ ——好氧池的需氧量(kgO<sub>2</sub>/d)；

$N_{ti}$ ——反应池进水总氮浓度(mg/L)；

$N_{oe}$ ——反应池出水硝态氮浓度(mg/L)；

$a$ ——碳的氧当量，当含碳物质以 BOD<sub>5</sub> 计时，取 1.47；

$b$ ——常数，氧化每公斤氮氮所需氧量(kgO<sub>2</sub>/kgN)，取 4.57；

$c$ ——常数，细菌细胞的氧当量，取 1.42。

4.0.9 剩余污泥量可按下式计算：

$$W = \frac{Q(S_i - S_e)}{1000} f \left( Y_b - \frac{0.9b_h Y_b f_t}{\frac{1}{\theta_d} + b_h f_t} + \psi \frac{X_i}{S_i} \right) \quad (4.0.9)$$

4.0.10 二次沉淀池的表面水力负荷宜小于  $1\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

4.0.11 回流污泥设备宜采用不易带入空气的设备。

## 5 序批式活性污泥法(SBR 法)

5.0.1 设计污水量,对于 SBR 反应池宜采用平均日污水量;对于反应池前、后的水泵、管道等输水设施宜采用最大日最大时污水量。

5.0.2 SBR 反应池的数量宜为 2 个及以上。

5.0.3 SBR 反应池容积可按下式计算:

$$V = \frac{24QS_i}{1000XL T_R} \quad (5.0.3)$$

式中  $Q$ ——每个周期进水量( $m^3$ );

$L$ ——污泥负荷( $kgBOD_5/(kgMLSS \cdot d)$ );

$T_R$ ——每个周期反应时间(h)。

5.0.4 污泥负荷,以脱氮为主要目标时宜采用  $0.03 \sim 0.12 kgBOD_5/(kgMLSS \cdot d)$ ;以除磷为主要目标时宜采用  $0.08 \sim 0.4 kgBOD_5/(kgMLSS \cdot d)$ ;同时脱氮除磷时宜采用  $0.08 \sim 0.12 kgBOD_5/(kgMLSS \cdot d)$ 。

5.0.5 SBR 工艺各工序的时间宜按下式确定:

$$1 \quad \text{进水时间 } T_F = \frac{T}{n} \quad (5.0.5-1)$$

式中  $T_F$ ——每池每周期所需的进水时间(h);

$T$ ——一个运行周期所需的时间(h);

$n$ ——反应池个数。

2 反应时间  $T_R$  可按下式计算:

$$T_R = \frac{24S_i m}{1000LX} \quad (5.0.5-2)$$

式中  $m$ ——充水比,高负荷运行时宜取  $0.25 \sim 0.5$ ,低负荷运行时宜取  $0.15 \sim 0.3$ 。

3 反应时间  $T_R$ , 包括好氧反应时间  $T_O$  和非好氧反应时间  $T_s$ 。非好氧反应时间  $T_s$  可按下式计算:

$$T_s = 24 \frac{0.001Q(N_{ti} - N_{te}) - 0.12W_m}{VXk_{de}} \quad (5.0.5-3)$$

式中  $W_m$ ——一个周期中排出反应池的微生物量(kg), 按式(4.0.4-2)计算。

4 沉淀时间  $T_s$  宜采用 0.5~1h。

5 排水时间  $T_D$  宜采用 1.0~1.5h。

6 一个周期所需时间可按下式计算:

$$T = T_R + T_s + T_D + T_b \quad (5.0.5-4)$$

式中  $T_b$ ——闲置时间(h)。

5.0.6 每天的周期数宜取正整数。

5.0.7 SBR 工艺的需氧量可按式(4.0.8)计算。

5.0.8 厌氧、缺氧工序宜采用水下搅拌器搅拌。

5.0.9 连续进水时, 反应池的进、出水处应设置导流装置。

5.0.10 应选用不易堵塞的曝气装置。

5.0.11 剩余污泥量可按式(4.0.9)计算。

5.0.12 反应池可采用矩形池或圆形池, 水深宜取 4~6m。矩形池的长宽比, 间隙进水时宜采用(1~2): 1; 连续进水时宜采用(2.5~4): 1。

5.0.13 反应池应设置固定式事故排水装置, 可设在滗水结束时的水位处。

5.0.14 应采用有防止浮渣流出设施的滗水器; 反应池应有清除浮渣的装置。

## 本规程用词说明

一、为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”。

2 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”或“可”;反面词采用“不宜”。

二、条文中指定应按其他有关标准执行时,写法为“应符合……的规定”或“应按……执行。”



中国工程建设标准化协会标准

城市污水生物脱氮除磷  
处理设计规程

CECS 149 : 2003

条文说明

## 目 次

1	总则 .....	(17)
3	一般规定 .....	(18)
4	缺氧/好氧法(A/O法)、厌氧/好氧法(A/O法)和 缺氧/厌氧/好氧法(A/A/O法) .....	(22)
5	序批式活性污泥法(SBR法) .....	(27)

# 1 总 则

**1.0.1** 说明制订本规程的目的。随着经济建设的发展,我国一些地方的水体富营养化已成为水污染的重要问题,采用生物脱氮除磷工艺进行污水处理已刻不容缓。

**1.0.2** 规定本规程的适用范围。

**1.0.3** 本规程未涉及的内容,应按国家现行有关标准的规定执行。

### 3 一般规定

#### 3.0.1 阐明能满足不同脱氮除磷要求的,可供选择的处理工艺。

生物脱氮由硝化和反硝化两个生物化学过程组成。氨氮在好氧池中通过硝化菌作用被氧化成硝态氮,硝态氮在缺氧池中通过反硝化菌作用被还原成氮气逸出。硝化菌是化能自养菌,需在好氧环境中氧化氨氮获得生长所需能量;反硝化菌是兼性异养菌,它们利用有机物作为电子供体,硝态氮作为电子最终受体,将硝态氮还原成气态氮。由此可见,为了发生反硝化反应,必须具备下列条件:1)有硝态氮;2)有有机碳源;3)基本无溶解氧(溶解氧会消耗有机物)。为了有硝态氮,处理系统应采用较长泥龄和较低负荷。缺氧/好氧法或低负荷 SBR 法可以满足上述要求,适于脱氮。

生物除磷由吸磷和放磷两个过程组成。聚磷菌在厌氧放磷时,伴随着溶解性可快速生物降解的有机物在菌体内储存。若放磷时无溶解性可快速生物降解的有机物在菌体内储存,则聚磷菌进入好氧环境中并不吸磷,此类放磷为无效放磷。生物脱氮和除磷都需有机碳,在有机碳不足,尤其是溶解性可快速生物降解的有机物不足时,反硝化菌与聚磷菌争夺碳源,会竞争性地抑制放磷。生物除磷必须具备下列条件:1)厌氧(无硝态氮);2)有有机碳源。厌氧/好氧法或高负荷 SBR 法可满足上述要求,适于除磷。

同时脱氮除磷,要求系统具有厌氧、缺氧和好氧环境。A/A/O 法可满足这一条件,SBR 法可通过变化运行方式创造厌氧、缺氧和好氧环境,两者都可同时脱氮除磷。

脱氮和除磷是相互影响的,脱氮要求较低负荷和较长泥龄;除磷却要求较高负荷和较短泥龄。脱氮要求有较多硝酸盐供反硝化,而硝酸盐对除磷却有较大影响。设计时应根据氮、磷的排放标

准等要求,寻找合适的平衡点。

**3.0.2** 污水在进入生物处理系统前应先经过预处理,包括沉砂池除砂,格栅去除漂浮物以及撇渣设施去除浮渣等,国家标准《室外排水设计规范》GBJ14-87(1997年版)对此有阐述。浮渣中含有大量油脂,会在厌氧池、缺氧池和 SBR 法的反应池中积累。某处理厂厌氧池和缺氧池表面的浮渣层达 0.5m,既有碍外观又影响处理效果,故强调污水进入反应池前应去除浮渣。对设初沉池的处理工艺,宜在初沉池去除浮渣;对不设初沉池的处理工艺,可在曝气沉砂池等构筑物中去除浮渣。

**3.0.3** 污水的五日生化需氧量( $BOD_5$ )与总凯氏氮(TKN)含量之比,是影响脱氮效果的重要因素之一。异养性反硝化菌在呼吸时,以有机基质作为电子供体,硝态氮作为电子受体,即反硝化时需消耗有机物。青岛等地污水处理厂的运行实践表明,当污水中  $BOD_5$  与 TKN 之比大于 4 时,可达理想脱氮效果; $BOD_5$  与 TKN 之比小于 4 时,脱氮效果不好。从污水生物脱氮角度来看,能为反硝化菌利用的有机碳可分为三类:1)污水中的多种有机物,例如有机酸、醇和碳水化合物。2)外加碳源,当污水中  $BOD_5$  与 TKN 之比过小时,需外加碳源才能达到理想的脱氮效果。外加碳源多采用甲醇,它被分解后产生二氧化碳和水,不会留下任何难以分解的中间产物。由于城市污水水量大,外加甲醇的费用较大,故有些污水处理厂将淀粉厂、制糖厂、酿造厂等排出的高浓度有机废水作为外加碳源,取得了良好效果。3)内源碳,是活性污泥中微生物死亡、自溶后释放出来的有机碳,内源碳的反硝化速率很低,仅为上述两种源碳的十分之一。当原污水的  $BOD_5$  与 TKN 之比为 4 或略小于 4 时,可不设初次沉淀池或缩短污水在初次沉淀池中的停留时间,以增大进入反应池污水中有机碳与氮的比值。

**3.0.4** 污水的五日生化需氧量( $BOD_5$ )与总磷(TP)含量之比是影响除磷效果的重要因素之一。若比值过低,聚磷菌在厌氧池放磷时释放的能量不能很好地被用来吸收和贮藏溶解性有机物,影

响到该类细菌在好氧池的吸磷,从而使出水磷浓度升高。广州地区的一些污水处理厂,在污水  $BOD_5$  与 TP 之比为 17 及以上时,取得了良好的除磷效果。

**3.0.5** 若污水的  $BOD_5$  与 TKN 之比小于 4,难以完全脱氮,系统中存在一定量的硝态氮,即使  $BOD_5$  与 TP 之比大于 17,也会影响生物除磷的效果。

**3.0.6** 温度对硝化菌的生长及硝化速率有较大的影响。大多数硝化菌最适宜的生长温度为  $25^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$  以下时,硝化细菌的生长及硝化作用明显降低。水温为  $10^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$  时,除磷效果随水温上升而提高;  $10^{\circ}\text{C}$  以下时,除磷效果明显降低。水温低于  $10^{\circ}\text{C}$  时,如需脱氮,可按第 4 章的公式计算,增加好氧泥龄;如需除磷,可适当增加厌氧池容积。

**3.0.7** 一般地说,聚磷菌、反硝化菌和硝化菌生长的最佳 pH 是中性或弱碱性;当环境 pH 偏离最佳值时,反应速度逐渐下降。碱度起着缓冲作用。污水处理厂的生产实践表明,为使好氧池的 pH 维持在中性附近,池中剩余碱度宜大于  $70\text{mg/L}$ 。每克氨氮氧化成硝态氮需消耗  $7.14\text{g}$  碱度,大大消耗了混合液的碱度。反硝化时,每还原  $1\text{g}$  硝态氮成氮气,理论上可回收  $3.57\text{g}$  碱度,此外,每去除  $1\text{gBOD}_5$  可以产生  $0.3\text{g}$  碱度。出水剩余碱度可按下式计算:  $\text{剩余碱度} = \text{进水碱度} + 0.3 \times \text{BOD}_5 \text{ 去除量} + 3 \times \text{反硝化脱氮量} - 7.14 \times \text{硝化氮量}$ , 式中 3 为美国 EPA 推荐的每还原  $1\text{g}$  硝态氮可回收  $3\text{g}$  碱度。当进水碱度较小,硝化消耗碱度后好氧池剩余碱度小于  $70\text{mg/L}$  时,可增加缺氧池容积,以增加回收碱度量。在要求硝化的氨氮量较多时,布置成多段缺氧/好氧形式特别有利。在该形式下,第一个好氧池仅氧化部分氨氮,消耗部分碱度,经第二个缺氧池回收碱度后再进入第二个好氧池消耗部分碱度,这样可减少对进水碱度的需要量。

**3.0.8** 硝化速率受 DO 浓度的影响可用米-门(Michaelis-Menten)方程来描述。我国学者建议在上述米-门方程式中采用

0.3mg/L的氧半速率常数,当 DO 大于 2mg/L 时,它对硝化速率的影响就不大了。再考虑到二次沉淀池需有一定的 DO,以防止沉淀污泥因反硝化而上浮,因而规定好氧池供氧设计时,池内溶解氧宜按 1.5~2.5mg/L 计算。

**3.0.9** 除磷工艺的剩余污泥在污泥浓缩池中浓缩时,会因厌氧而放出大量磷酸盐,用机械法浓缩污泥可缩短浓缩时间,减少磷酸盐析出量。

**3.0.10** 生物除磷工艺的剩余活性污泥厌氧消化时,会产生大量灰白色的磷酸盐沉积物,这种沉积物极易堵塞管道。青岛某污水处理厂采用 A/A/O 工艺处理污水,在消化池出泥管、后浓缩池进泥管、后浓缩池上清液管道和污泥脱水后滤液管道中均发现灰白色沉积物,弯管处尤甚,严重影响了正常运行。这种灰白色沉积物结构紧密,质地坚硬,不溶于水,经盐酸浸泡也无法去除。该厂在这些管道的转弯处增加了法兰,还拟对消化池出泥管进行改造,将原有的内置式管道改为外部管道,便于经常冲洗保养。污泥脱水滤液和第二级消化池上清液中,磷浓度十分高,如不除磷而直接回到集水池,则磷从水中转移到泥中,再从泥中转移到水中,只是在处理系统中循环,将严重影响磷的去除效率。这类磷酸盐宜采用化学法去除。

## 4 缺氧/好氧法(A/O法)、厌氧/好氧法(A/O法)和缺氧/厌氧/好氧法(A/A/O法)

A/A/O 工艺的典型流程为厌氧→缺氧→好氧,若仅需脱氮,可省去厌氧池,变成缺氧/好氧工艺;若仅需除磷,可省去缺氧池,变成厌氧/好氧工艺。

**4.0.1** 反应池是利用微生物吸附、水解或氧化水中有机物的设施,具有极强的缓冲能力,可按平均日流量进行设计。

**4.0.2** 在厌氧池中先发生脱氮反应消耗硝态氮,然后聚磷菌释放磷,释磷过程中释放的能量可用于其吸收和贮藏溶解性有机物。若厌氧池停留时间小于 1h,磷释放不完全,会影响磷的去除率,综合考虑除磷效率和经济性,规定厌氧池停留时间为 1~2h。在只除磷的厌氧/好氧系统中,由于无硝态氮与聚磷菌争夺有机物,厌氧池停留时间可缩短。

**4.0.3** 溶解氧对脱氮除磷效果有较大影响,且对除磷影响较脱氮大,规定厌氧池应采用机械搅拌,缺氧池宜采用机械搅拌。为保证厌氧池和缺氧池内污泥处于悬浮状态,规定搅拌器功率宜为  $5\sim 8\text{W}/\text{m}^3$ 。厌氧池和缺氧池发生反硝化作用,池面会有浮泥。若搅拌器安装角度不适,浮泥会越来越多,形成很厚的硬壳,影响处理效果和环境。青岛某处理厂出现过这种情况,后来调节好两个对角搅拌器的角度,使整池水旋转起来,减少了浮泥,池面也不再硬壳。

**4.0.4** 式(4.0.4-1)规定了缺氧池容积的计算方法,式中 0.12 为微生物中氮的分数。反硝化速率  $k_{\text{de}}$  与混合液回流比、进水水质和污泥中反硝化菌的比例等因素有关。混合液回流量大,带入缺氧池的 DO 多,  $k_{\text{de}}$  取低值;进水有机物浓度高且较易生物降解时,  $k_{\text{de}}$



取高值。应合理确定反应池混合液浓度,过低会增大反应池容积,且好氧池易产生泡沫;过高会增加二沉池容积和污泥回流量。其值要按表 1 选用。

表 1 反应池混合液浓度取值范围

处 理 目 标	MLSS(kg/m <sup>3</sup> )	
	有初沉	无初沉
无硝化	2.0~3.0	3.0~4.0
有硝化	2.5~3.5	3.5~4.5

温度变化可用式(4.0.4-3)修正,式中 1.08 是温度修正系数。

式(4.0.4-2)中的  $(Y_b - \frac{0.9b_h Y_b f_t}{\frac{1}{\theta_d} + b_h f_t})$  项为微生物产率系数,详

见第 4.0.5 条说明。

**4.0.5** 规定了好氧池容积的计算公式。式(4.0.5-1)为计算硝化菌比生长率的公式,其中 0.47 为 15℃ 时硝化菌的最大比生长率;硝化作用中氮的半速率常数  $K_N$  是硝化菌比生长率等于硝化菌最大比生长率一半时氮的浓度,15℃ 时  $K_N$  的典型值为 0.4mg/L;  $e^{0.098(t-15)}$  是温度校正项。假定好氧池混合液进入二沉池后不发生硝化与反硝化反应,则好氧池氨氮浓度与二沉池出水氨氮浓度相等。式(4.0.5-1)中好氧池氨氮浓度  $N_a$  可根据排放要求确定。自养性硝化菌比异养菌的生长率小得多,如果没有足够长的泥龄,硝化菌就会从系统中流失。为了保证硝化发生,泥龄须大于  $1/\mu$ 。在需要硝化的场合,以泥龄作为基本设计参数是十分有利的。式(4.0.5-1)是从纯种培养试验中得出的硝化菌比生长率,采用该式算得的泥龄,可保证活性污泥系统中有硝化菌。为了在环境条件变得不利于硝化菌生长时系统中仍有硝化菌,泥龄设计值应比好氧泥龄最小值大,故在式(4.0.5-3)中引入安全系数  $F$ ,城市污水可生化性好, $F$  可取 1.5~3.0。

式(4.0.5-4)中  $Y$  为污泥净产率系数。理论上,污泥产率系数

指单位有机物(用  $BOD_5$  或其他指标表示)降解后产生的微生物量。由于微生物在内源呼吸时要自我分解掉一部分,通常测得的污泥产率系数为净产率系数,此值乘以  $(1 + b_b \theta_d)$  为污泥产率系数。工程中,净产率系数更有实际意义。净产率系数随内源衰减系数(泥龄、温度等因素的函数)和泥龄变化而变化,不是一个常数。

由于原污水中有相当量的惰性悬浮固体,它们原封不动地沉积到污泥中,所产生的 SS 将大于由有机物降解产生的 SS,在许多不设初沉池的处理工艺中更甚。因此,在确定污泥净产率系数时,必须考虑原水中惰性悬浮固体的含量,否则,计算所得的剩余污泥量往往偏小。德国废水工程协会(ATV)考虑了原水中惰性悬浮固体对污泥产率系数的影响后,推荐采用式(4.0.5-4)计算,式中  $\psi$  值推荐取 0.6。

活性污泥中自养菌所占比例极小,可忽略不计,式(4.0.5-4)只用异养菌产率系数来计算污泥增长。 $X_i/S_i$  反映了原污水中惰性悬浮固体与  $BOD_5$  之比,比值大,剩余污泥量大,即  $Y$  值大。好氧泥龄  $\theta$  影响污泥的衰减,泥龄长,污泥衰减多,即  $Y$  值小。温度对产率系数的影响,由温度修正系数  $f_t$  表示, $f_t$  大, $Y$  值小。考虑到我国生活习惯与德国的差异,污水中有机物比重低,有机物中脂肪含量低,碳水化合物含量高,污泥产率较德国小,故乘以  $f$  的修正系数。修正系数  $f$  应通过试验确定。我国学者根据国内已公布的数据和经验,推荐修正系数  $f$  为 0.8~0.9。

若在污泥产量中扣除因原水中悬浮固体而增加的污泥量,则为排出系统的微生物量。令式(4.0.5-4)中  $X_i/S_i$  为零,可得到微生物产率系数。

**4.0.6** 规定了混合液回流量的计算公式。如果:1)好氧池硝化作用完全;2)回流污泥中硝态氮浓度与好氧池相同;3)回流污泥中硝态氮进厌氧池后全部被反硝化;4)缺氧池有足够碳源,则系统最大脱氮率是总回流比(混合液回流量加上回流污泥量与进水流量之

比) $r$ 的函数, $r=(Q^m r+Q_r)/Q$ ,最大脱氮率 $=r/(1+r)$ 。由公式可知,增大总回流比可提高脱氮效果,但当总回流比为4时,再增加回流比脱氮效果提高不大。总回流比过大,会使系统由推流式趋于完全混合式,导致污泥性状变差;在进水浓度较低时,会使缺氧池氧化还原电位(ORP)升高,导致反硝化速率降低。上海市政工程设计研究院观察到,总回流比从1.5上升到2.5,ORP从-218mV,上升到-192mV,反硝化速率从 $0.08\text{ kgNO}_3/(\text{kgvss}\cdot\text{d})$ 下降到 $0.038\text{ kgNO}_3/(\text{kgvss}\cdot\text{d})$ 。回流污泥量的确定,除计算外,还应综合考虑提供硝酸盐和反硝化速率等方面的因素。

**4.0.7 生物脱氮时**,由于硝化菌世代时间较长,要取得好的脱氮效果需有较长泥龄。以脱氮为主要目的时,泥龄可取12~25d。活性污泥中聚磷菌在厌氧环境中会释放出磷,在好氧环境中会吸收超过其正常生长所需的磷。通过排放含磷量高的剩余污泥,可比采用普通活性污泥法从污水中去除更多的磷。由此可见,缩短泥龄,即增加排泥量可提高磷的去除率。以除磷为主要目的时,泥龄可取3.5~7.0d。此外,脱氮和除磷对污泥负荷和好氧停留时间的要求也不同,除磷要求较高污泥负荷和较短好氧停留时间,脱氮要求较低污泥负荷和较长好氧停留时间。脱氮和除磷对泥龄、污泥负荷和好氧停留时间的要求是相反的。在需同时脱氮除磷时,综合考虑泥龄的影响后,可取12~20d。

**4.0.8 规定了计算设计需氧量的公式**。公式右边第一项为碳需氧量,第二项为氮需氧量,第三项为剩余污泥氧当量,第四项为反硝化回收的氧量。

总凯氏氮(TKN)包括有机氮和氨氮。有机氮可通过水解、氧化、还原脱氨基而生成氨氮,此过程为氨化作用。氨化作用对氮原子而言化合价不变,并无氧化还原反应发生,故采用氧化1kg氨氮需4.57kg氧的系数来计算TKN降低所需要的氧量。

反硝化反应可采用下列通式表示: $5C+2H_2O+4NO_3^- \rightarrow 2N_2+4OH^-+5CO_2$ 。由此可知,4个 $NO_3^-$ 还原成2个 $N_2$ ,可使5个

有机碳氧化成  $\text{CO}_2$ ，相当于耗去 5 个  $\text{O}_2$ ；而从反应式  $4\text{NH}_4^+ + 8\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO}_3^- + 8\text{H}^+ + 4\text{H}_2\text{O}$  可知，4 个氨氮氧化成 4 个  $\text{NO}_3^-$  需消耗 8 个  $\text{O}_2$ ，故反硝化时氧的回收率为  $5/8=0.62$ 。

若污水的水质、水量没有变化，则设计需氧量可按式(4.0.8)计算。由于污水的水质水量一般有较大幅度的波动，故在设计供氧量时应加以考虑。

若处理系统仅实施碳的氧化，则公式(4.0.8)右边第二、第四项为零，变为： $\text{O}_2=0.001aQ(S_i-S_e)-cW_m$ 。

**4.0.10** 污水预处理和反应池后的固液分离应符合现行国家标准《室外排水设计规范》GBJ14-87(1997 年版)的有关规定。但是，GBJ14 中二沉池水力负荷偏高，同时出水中带出的污泥对磷的去除率影响很大，故本规程结合我国污水处理厂的实际情况作了规定。周边进周边出辐流式二沉池的水力负荷可适当提高，深圳某污水厂采用这种形式的二沉池，水力负荷达  $1.3\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ，取得了良好效果。

**4.0.11** 为减少因回流污泥带入厌氧池的氧量，作此规定。

## 5 序批式活性污泥法(SBR 法)

最初的活性污泥工艺采用间歇式,称为 Fill-and-Draw,是序批式活性污泥法(Sequencing Batch Reactor,缩写为 SBR)的雏形。1914 年阿登(Arden)首次用活性污泥法处理污水,就是采用 Fill-and-Draw 工艺。由于间歇运行时曝气头易堵塞以及操作较复杂,连续流工艺逐渐替代了 Fill-and-Draw 工艺。近年来,机械曝气装置和新型曝气头的开发解决了间歇运行时曝气头易堵塞的问题;同时,自动化仪表及控制技术的发展使操作不再复杂。由于 SBR 工艺具有沉淀效果好、可防污泥膨胀、反应效率高和可脱氮除磷等优点,在世界各地被广泛应用。SBR 工艺按周期运行,从进水开始到下一次进水开始之前的一段时间称为一个工作周期。SBR 工艺的每个周期有进水、反应、沉淀和排水四个主要工序。

由于 SBR 工艺是间歇进水、排水,主要用于小规模污水处理厂。为使 SBR 工艺用于较大规模污水处理厂,20 世纪 80 年代开发出间歇式循环延时曝气活性污泥法(Intermittently Cyclic Extended Aeration Activated Sludge,缩写为 ICEAS)。该工艺不但可在反应阶段进水,也可在沉淀和排水阶段进水,即可连续进水。

**5.0.1** 由于进水时可均衡水量变化,同时,反应池对水质变化有较大的缓冲能力,故规定反应池的设计污水量为平均日污水量。为顺利输送污水并保证处理效果,对反应池前后的水泵、管道等输水设施作了规定。

**5.0.2** 考虑到清洗和检修等情况,SBR 工艺反应池的数量宜为 2 个以上。但当水量较小(如小于  $500\text{m}^3/\text{d}$ ),设 2 个反应池不经济,或者投产初期污水量较小,采用低负荷连续进水方式时,可建一个池子。

5.0.3 规定了反应池容积的计算公式。

5.0.4 规定了污泥负荷的选用范围。除负荷外,充水比和周期数等参数均对脱氮除磷有影响,设计时要综合考虑各种因素。各种负荷下的特性列于表 2。

表 2 各种负荷下的特性

有机负荷 (进水条件)	高负荷运行 (间歇进水)	低负荷运行 (间歇、连续进水)
BOD—SS 负荷 ( $\text{kgBOD}_5/\text{kgMLSS} \cdot \text{d}$ )	0.1~0.4	0.03~0.1
周期数	大(3~4)	小(2~3)
充水比	大(0.25~0.5)	小(0.15~0.3)
有机物去除	出水 $\text{BOD}_5 < 20\text{mg/L}$	去除率较高负荷高
脱氮	比低负荷低	高
除磷	高	比高负荷低
污泥产量	多	少
维护管理	抗负荷变化性差	抗负荷变化性好

5.0.5 SBR 工艺是按周期运行的,每个周期包括进水、反应(厌氧、缺氧、好氧反应)、沉淀、排水和闲置五个工序,前四个工序是必需工序。

进水时间指开始向反应池进水至进水完成的一段时间。在此期间可根据具体情况进行曝气(好氧反应)、搅拌(厌氧、缺氧反应)、沉淀、排水或闲置。若一个处理系统有  $n$  个池子,连续地将污水流入各个池内,依次对各池污水进行处理,假设在进水工序不进行沉淀和排水,一个周期的时间为  $T$ ,则进水时间应为  $T/n$ 。

非好氧反应时间内发生反硝化反应及聚磷菌的放磷反应,运行时可增减闲置时间以调整非好氧反应时间。

式(5.0.5-2)中,充水比的含义是每个周期进水容积与反应池容积之比。充水比的倒数减 1,可理解为回流比;充水比小,相当于回流比大。要取得好的脱氮效果,充水比要小;但充水比过小,

反而不利,可参见第 4.0.6 条说明。

用(4.0.4-2)计算  $W_m$  时,需注意量纲,  $W_m$  是一个周期中排出反应池的微生物量,因而  $Q$  也应为一个周期进水量。

非好氧反应时间和好氧反应时间之和为反应时间  $T_R$ , 即  $T_R = T_a + T_o$ 。

排水目的是排除沉淀后的上清液,直至达到开始向反应池进水时的最低水位。排水可采用滗水器,所用时间由滗水器的能力决定。排水时间可通过增加滗水器台数或加大溢流负荷来缩短。但是,缩短了排水时间将增加后续处理构筑物(如消毒池等)容积和增大排水管管径。综合两者关系,排水时间宜为 1.0h~1.5h。

闲置不是一个必需的工序,可以省略。在闲置期间,根据处理要求,可以进水、好氧反应、非好氧反应以及排除剩余污泥等。闲置时间的长短由进水流量和各工序的时间安排等因素决定。

**5.0.6** 为便于运行管理,作此规定。

**5.0.8** 为避免引入较多空气,创造良好的厌氧、缺氧环境,作此规定。

**5.0.9** 由于污水的进入会搅起活性污泥,此外,若进水发生短流会造成出水水质恶化,因此应设置导流装置。

**5.0.10** 由于在同一反应池内进行活性污泥的曝气和沉淀,曝气装置应不易堵塞。

**5.0.11** 设计泥龄  $\theta_d$  的选用,可参见第 4.0.7 条说明。泥龄指活性污泥在反应池中的平均停留时间。SBR 工艺的反应池在沉淀、排水和闲置时不曝气,此时反应池只能看作沉淀池,计算泥龄时应扣除这部分容积,否则算出的泥龄偏大。我国河北某污水处理厂,原设计泥龄为 26d,由于计算时没有扣除不参加反应的容积,实际泥龄仅 11d,致使硝化效果不好。

**5.0.12** 矩形反应池可紧凑布置,占地少。水深应根据鼓风机排风压力确定。如果反应池水深过大,排出水的深度相应增大,则固液分离所需时间就长;同时,滗水器受结构限制,滗水不能过多。

但是,如果反应池水深过小,由于受活性污泥界面以上最小水深(保护高度)限制,排出比小,则不经济。综合考虑以上因素,规定完全混合型池子水深为4~6m。连续进水时,如反应池长宽比过大,流速大,会带出污泥;长宽比过小,会因短流而造成出水水质下降,故长宽比宜为 $(2.5\sim4):1$ 。

**5.0.13** 滗水器故障时,可用事故排水装置应急。固定式排水装置结构简单,十分适合于事故排水装置。

**5.0.14** 由于SBR工艺一般不设初沉池,浮渣和污染物会流入反应池。为了不使反应池水面上的浮渣随处理水一起流出,应采用有挡板的滗水器。反应池应有浮渣清除装置,否则池表面会积累很厚的浮渣,影响环境和处理效果。