# 生物脱氮除磷技术及其在水处理中的应用

成官文

（桂林工学院环境科学系）

**摘 要** 生物脱氮除磷技术是技术上可行、经济上合理的新的水处理技术，其在城市生活污水和工业废水处理中得到推广使用。重点介绍了生物脱氮除磷的基本理论及其影响因素，并对近年来我国生物脱氮除磷技术在城市生活污水处理、工业废水处理、中水回用方面的应用进展进行了综述。

**关键词** 生活污水处理；工业废水处理；回用；生物脱氮除磷；机理

**中图号** X703

## 1 生物脱氮除磷技术的特点

生物脱氮除磷技术的工艺流程共有3种类型，即$A_1/O$，$A_2/O$与A/A/O。由于其能脱氮除磷，且技术经济合理，而得到国内外广泛地重视。近年来，随着排放标准的严格化，工业废水的脱氮也成为排水工程界的热点，并迅速在焦化废水、石油化工废水、印染废水的处理中得到应用。生物脱氮除磷技术具有如下主要特点：

（1）污水、废水经A/O或A/A/O工艺处理后，能达到同时去除$C_{有机}$，N，P等污染物，出水水质可达三级处理标准。

（2）产生的剩余污泥量较一般生物处理系统少，且污泥沉降性能好，易于脱水。

（3）与一般二级处理加脱氮除磷系统相比，基建投资少、能耗低、用药少、占地面积小。

（4）能提高难生物降解有机物的去除率，并能抑制丝状菌，利于运行和管理。

（5）它们是在一般生物处理技术上发展起来的一种水处理新技术，其设计规模可大可小，进水浓度可高可低，并能移植或推广到那些老的生物处理污水厂的改造和扩建上。

## 2 生物脱氮除磷系统及其机理

### 2.1 生物脱氮除磷系统

生物脱氮除磷系统主要由厌氧池、缺氧池、好氧池3个部分组成，三者不同的构置，形成了不同的生物脱氮除磷工艺流程；

（1）厌氧-好氧流程，简称“$A_1/O$”，它的作用在于去除有机物的同时去除废水中的磷，整个流程系初沉池、厌氧池、好氧池和二沉池组成，部分污泥回流至厌氧池，并通过剩余污泥将磷排除系统。对于低温、低有机物浓度的生活污水，因活性污泥增殖较少，难以通过排

1995年5月26日收搞，7月13日改回。

作者简介：成官文，男，1961年出生，讲师，环境工程专业。

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

放剩余污泥达到除磷效果，宜用旁路除磷工艺，达到除磷效果。

（2）缺氧-好氧流程，简称“$A_2/O$”，它由缺氧池和好氧池串联而成，它的作用是在去除有机物的同时取得良好的脱氮效果。$A_2/O$ 又称前置反硝化，它是先将废水引入缺氧池，进行有机物的初步降解和硝酸盐的反硝化，然后进入好氧池，使有机物进一步降解和氨氮的硝化，O 段后设沉淀池，部分污泥回流至 A 段，以提供充足的微生物，同时还将 O 段混合液回流至 A 段，以保证 A 段有足够的硝酸盐。

（3）厌氧-缺氧-好氧流程，简称“$A/A/O$”或“$A^2/O$”，它由厌氧池、缺氧池、好氧池串联而成，系 $A_1/O$ 与 $A_2/O$ 流程的结合。沉淀池的部分污泥回流至厌氧池，好氧池的混合液回流至缺氧池，形成能同时脱氮除磷的新工艺。

## 2.2 生物脱氮除磷机理及特征曲线

**2.2.1 脱氮机理** 生物脱氮是生活污水和工业废水中的 OR-N 在生物处理过程中被异养氨化菌作用，转化成 $NH_4^+$-N，后由自养型硝化细菌将其转化成 $NO_3^-$-N，再由具有兼性厌氧的反硝化细菌，在缺氧条件下把 $NO_3^-$ 作为最终电子受体、氧化水中的有机物，用于产能和增殖，并同时将 $NO_3^-$ 异化还原成 $N_2$，而达到脱氮目的。其反应过程为：

（1）硝化反应：$NH_4^+ + 2O_2 \xrightarrow{\text{硝化细菌}} NO_3^- + 2H^+ + H_2O + 410kJ$。

其总的物质交换为：

$$50NH_4^+ + 93O_2 + 5CO_2 \xrightarrow[C_5H_7NO_2]{\text{硝化菌}} 47H_2O + 99H^+ + 49NO_3^- + C_5H_7NO_2$$

每硝化 1g 氮，硝化菌增殖 0.16gTs，但需耗氧 4.25g。

（2）反硝化反应：$NO_2^- + 3H^+ \xrightarrow{\text{亚硝化细菌}} \frac{1}{2}N_2 + H_2O + OH^-$

$$NO_3^- + 5H^+ \xrightarrow{\text{硝化细菌}} \frac{1}{2}N_2 + H_2O + OH^-$$

其生物化学过程如下：

$$2HNO_3 \xrightarrow[-2H_2O]{+4H^+} 2HNO_2 \xrightarrow[-2H_2O]{+4H^+} [HON=NOH] \begin{cases} \xrightarrow[-2H_2O]{+2H^+} NO_2 \xrightarrow[-2H_2O]{+4H^+} N_2 \\ \xrightarrow[-2H_2O]{+4H^+} NH_2OH \xrightarrow[-2H_2O]{+4H^+} 2NH_2\text{(用于合成)} \end{cases}$$

所以，整个生物脱氮过程见图 1，相应的脱氮工艺特征曲线见图 2、3。①

**2.2.2 脱磷机理** 污水中的磷主要来自粪便、洗涤剂、农药和含磷工业废水，它们包括有机磷、正磷酸盐和聚磷酸盐，并以无机磷的形式直接参与生化反应。细菌、藻类等微生物在某种特定条件下，可以在它们的细胞内积储大大超过合成细胞质所需的磷，并在厌氧条件下又释放出来。通过微生物的这种过剩摄取和释放的控制，能达到生物除磷的目的。

①章非娟，吴志超. 焦化废水深度处理. 第2届海峡两岸环境保护学术研讨会论文集，台湾大学，1993. 10

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

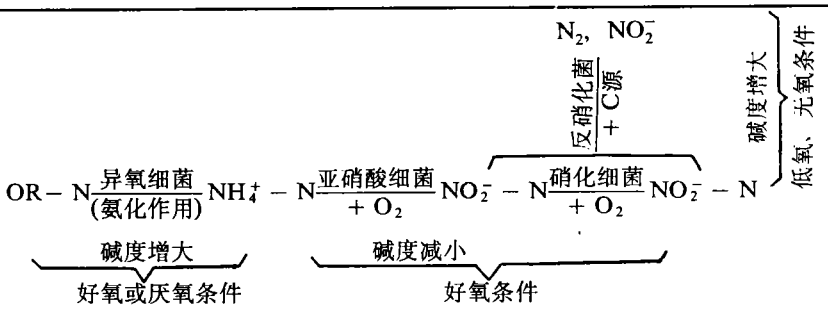



**图1 生物脱氮过程示意图**

Fig. 1 The motion diagram of bio-denitro process

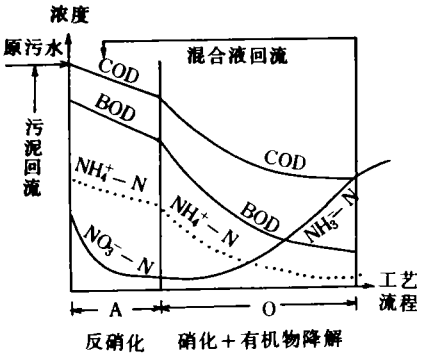



**图2 $A_2$/O 工艺脱氮特性曲线**

Fig. 2 The characteristic curve of $A_2$/O bio-denitro

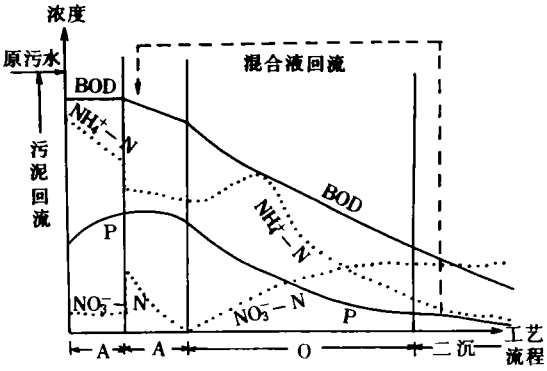



**图3 A/A/O 工艺脱氮除磷特性曲线**

Fig. 3 The characteristic curve of A/A/O bio-denitro and bio-denipho

生物除磷就是使水中的磷转移到活性污泥或生物膜上，而后通过排泥或旁路工艺预以去除（图4）。过程如下：(1) 厌氧阶段：使含磷化合物成溶解性磷，聚磷细菌释放出积储的磷酸盐。(2) 好氧阶段：聚磷细菌大量吸收并积储溶解性磷化物中的磷。

聚磷细菌是好氧菌，它在活性污泥中并不是优势菌种，但它能在厌氧这一不利环境中将聚磷酸水解，利用产生的能量合成PHB，由于它在利用基质的竞争中比其它好氧菌占有优势，从而利于它的大量繁殖。经过厌氧与好氧的交替，进行释磷与吸磷的过程，处理后的出水在沉淀池与活性污泥分离，从而通过排泥达到磷的"净去除"。在 $A^2$/O 工艺中，由于不同环境条件、

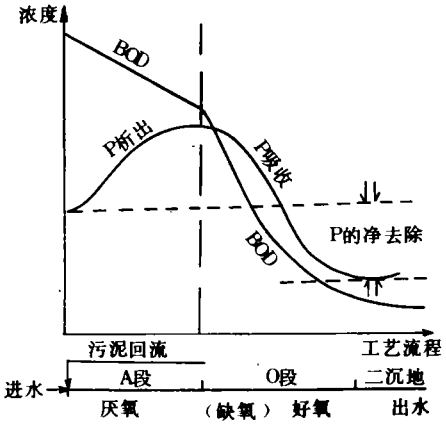



**图4 $A_1$/O 生物除磷特性曲线**

Fig. 4 Characteristic curve of $A_1$/O bio-denipho

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

不同功能的微生物群落的有机配合，加之厌氧、缺氧条件下 $COD_{nB}$ 能被开环或断链，使得氮、磷、$C_{有机}$被同时去除，并提高了对 $COD_{nB}$ 的去除效果（图 3）。

磷的去除不同于 BOD，COD 被氧化成 $H_2O$ 和 $CO_2$，也不同于 $NH_4^+$–N 被还原成 $N_2$，它是通过磷的摄取与释放来实现的，所以，在除磷过程中应尽量减少污泥系统中磷的释放和污泥回流磷的数量。

## 2.3 生物脱氮除磷动力学

**2.3.1 脱氮动力学** （1）反硝化过程动力学，在正常运行的脱氮工艺流程中，较少出现 $NO_2^-$ 中间体的积累，因此可把 $NO_3^-$ 异化还原成 $N_2$ 的过程作单步骤反应，此时据图 5 可得反硝化过程的物料平衡方程：

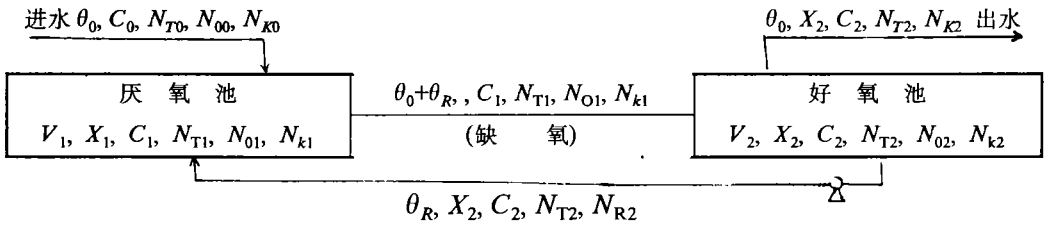



**图 5 脱氮工艺流程物料平衡图**

Fig. 5 Balance diagram of bio-denitro technological process

$$V_1(\mathrm{d}N_{T1}/\mathrm{d}t)_0 = Q_0N_{T0} + Q_RN_{T2} - (Q_0+Q_R)N_{T1} - V_1(\mathrm{d}N_{T1}/\mathrm{d}t)_1 \quad (1)$$

$$V_1(\mathrm{d}N_{01}/\mathrm{d}t)_0 = Q_0N_{00} + Q_RN_{02} - (Q_0+Q_R)N_{01} - V_1(\mathrm{d}N_{01}/\mathrm{d}t)_1 \quad (2)$$

由于厌氧池中 BOD 的降解速率按零级反应进行，则由上述二式可得：

$$(\mathrm{d}N_{T1}/\mathrm{d}t)_1 = KN_{T1}\cdot X_1 \qquad (\mathrm{d}N_{01}/\mathrm{d}t)_1 = KN_{01}\cdot X_1$$

所以，当反硝化过程处于稳定状态时，其动力学方程如下：

$$(N_{T0}+RN_{T2})/(1+R)t_1X_1 = N_{T1}/t_1X_1 + KN_{T1} \quad (3)$$

$$(N_{00}+RN_{02})/(1+R)t_1X_1 = (N_{01})/t_1X_1 + KN_{01} \quad (4)$$

式中 $KN_{T1}$，$KN_{01}$ 分别为 TN 和$(NO_2^-+NO_3^-)$–N 的零级反应速解速率常数；$(\mathrm{d}N_{T1}/\mathrm{d}t)_0$、$(\mathrm{d}N_{01}/\mathrm{d}t)_0$ 与$(\mathrm{d}N_{T1}/\mathrm{d}t)_1$，$(\mathrm{d}N_{01}/\mathrm{d}t)_1$ 分别为厌氧池中 TN、$(NO_2^-+NO_3^-)$–N 的变化率和降解速率；$R$ 为回流比；$t_1=V_1/Q_0+Q_R$；图中 $V_1$，$V_2$ 与 $X_1$，$X_2$ 分别为厌氧池、好氧池的容积和 MLSS；$Q_0$，$Q_R$ 分别为进水、回流混合液量；$C_0$，$C_1$，$C_2$，$N_{T0}$，$N_{T1}$，$N_{T2}$，$N_{00}$，$N_{01}$，$N_{02}$，$N_{K0}$，$N_{K1}$，$N_{K2}$ 分别为进水、厌氧池、好氧池的 $COD_B$、可溶性 TN、$(NO_2^-+NO_3^-)$–N 和 TKN 量。

（2）硝化过程动力学，硝化过程是硝化菌的生化作用过程，硝化作用的强度可依据好氧池的物料平衡来计算，由图 5 得：

$$(Q_0+Q_R)N_{T1} - (Q_0+Q_R)N_{T2} - V_2(\mathrm{d}N_{T2}/\mathrm{d}t)_2 = 0 \quad (5)$$

$$(Q_0+Q_R)N_{K1} - (Q_0+Q_R)N_{K2} - V_2(\mathrm{d}N_{K2}/\mathrm{d}t)_2 = 0 \quad (6)$$

据 Carison 与 Harroes 等研究，硝化过程活性污泥混合液脱氮动力学反应为一级反应，并能用下式表示：$(\mathrm{d}N_{T2}/\mathrm{d}t)_2 = K_{N2}\cdot X_2\cdot N_{T2}$，$(\mathrm{d}N_{K2}/\mathrm{d}t)_2 = K_{NK2}X_2\cdot N_{K2}$，由于好氧中 TN 浓度不变，则$(\mathrm{d}N_{T2}/\mathrm{d}t)_2=0$，故由（6）、（7）二式得硝化反应的动力学方程为：

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

$$(N_{K1}-N_{K2})/N_{K2}=K_{NK2}\cdot t_2\cdot X_2 \tag{7}$$

式中：$t_2=V_2/(Q_0+Q_R)$，$K_{NK2}$ 为 TKN 的降解速率常数[1]①。

2.3.2 生物除磷动力学 （1）磷的厌氧释放：磷的厌氧释放与厌氧区内的溶解性 $COD_B$ 密切相关，它主要取决于基质而不是厌氧状态本身。据研究，这些能诱导磷释放的基质共有3类：

A类基质（$S_A$）：主要是甲酸、乙酸等低分子有机酸，它诱导磷释放速率与基质浓度无关，但释放时间与基质的初始浓度有关。

B类基质（$S_B$）：主要是甲醇、乙醇、葡萄糖和柠檬酸等，它们在厌氧状态下能诱导磷释放，但必须先转化成A类物质后才能激发磷的释放，并且这种释放速度明显小于A类的速率。

C类基质（$S_C$）：主要为丁酸、乳酸和琥珀酸等，它们能引起磷的厌氧释放，其释放速率类似A类基质。

所以，生物除磷系统中磷的有效释放表达为：

$$P_t=P_o+K_{PA}X_at+K_{PB}S_{BO}(1-e^{-k_m'X_At}) \tag{8}$$

式中：$P_0$，$S_{BO}$ 为磷与 $S_B$ 的起始浓度；$t$ 为反应时间；$X_A$ 为聚磷菌浓度；$K_{PA}$ 与 $K_{PB}$ 为A与B类基质的磷释放速率常数；$K_m'$ 为 $S_B$ 转化成 $S_A$ 的速率常数。

由于上述基质在厌氧、缺氧条件下磷释放特性均不相同，因此，其 $C_P\sim t$ 曲线是一个多变函数，其几何形状取决于基质的性质和数量，同时还取决于 $NO_3^-$ 的多少。因为反硝化细菌还原硝酸盐过程消耗了大量的 $S_A$ 和 $S_B$，影响磷的释放。$NO_3^-$ 大量存在利于磷的净吸收而明显抑制基质诱导磷释放。$NO_3^-$–N 耗完后混合液进入缺氧池，此时磷的释放速率明显增加。

（2）磷的好氧吸收；磷的有效释放与溶解性 $COD_B$ 有关，$COD_B$ 的大小决定了有效释放磷量的大小，而有效释放磷量大小又决定好氧吸磷量的大小。据研究，经过厌氧释放磷的混合液在好氧条件下可大量吸收磷。一般情况下，磷的吸收曲线（$P\sim t$）接近指数衰减曲线，但由于受DO，pH等因素的影响，较难用数学方程表达，仅能用简式表示好氧条件下磷的吸收能力：$P_u=K_u(P_t-P_o)$，式中 $K_u$ 为吸磷常数。当 $P_u>P_t$ 时，就能实现“磷的净去除”。大量试验表明，常规运行状态下好氧吸收均能达到要求。

## 3 生物脱氮除磷工艺的影响因素

### 3.1 基质浓度

生物脱氮除磷工艺的去除对象是N，P与 $C_{有机}$，它们的浓度及其相互间的比例直接影响着工艺流程的选择和它们的去除效果。

3.1.1 C／N比 由 $NO_3^-$ 反硝化方程式：$5C_{有机}+4NO_3^-+2H_2O=2N_2+5CO_2+4OH^-$ 可计算A段反硝化的理论 $BOD_5/N=2.86$，但仅用原污水中的 $BOD_5/N>3$ 来评价污水的反硝化性能是不合理的。Bohnke认为可获得的 $BOD_5$ 值与需反硝化去除的氮量值之比（$\Delta BOD_5/\Delta N$）才是影响反硝化的决定因素。其中：

$$\Delta BOD_5=BOD_0(1-\eta_1) \qquad \Delta N=N_0-[N_0\eta_2+K_1(1-\eta_1)BOD_0]\cdot K_2-N_0\eta_3$$

式中：$BOD_0$，$N_0$ 为原水中 $BOD_5$，TN浓度；$\eta_1$，$\eta_2$，$\eta_3$ 分别为 $A$ 段的 $BOD_5$，TN去除率和 $O$ 段出水残留TN百分数；$K_1$，$K_2$ 分别为剩余污泥和污泥处置回流水的氮占去除 $BOD_5$ 量的百分比。当 $\Delta BOD_5/\Delta N>3$ 时基本能满足反硝化细菌对 $C_{有机}$ 的需要，当

①黄长盾. 厌氧好氧脱氮系统的动力学研究. 给水排水技术动态，1990（1）：20～25

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

$\Delta BOD_5/\Delta N<2.86$ 时，利于硝化菌的增殖，能提高硝化速度，使硝化反应完全，但当进入缺氧段后，由于碳源不足，会导致反硝化反应不能充分进行。所以，维持 $\Delta BOD_5/\Delta N$ 是反硝化充分进行与否的控制因素之一。当 $\Delta BOD_5/\Delta N$ 值很低时，可通过改变方案改善脱氮作用，如增加缺氧段停留时间，使反硝化菌量增加，来抵消反硝化速率低的影响。但当 $\Delta BOD_5/\Delta N$ 过高时，对硝化菌生长不利，因为硝化菌在活性污泥中的比例与废水中的 $\Delta BOD_5/\Delta N$ 有关[2]。

3.1.2 C/P比　$COD_B$ 在厌氧段先被产酸菌分解和聚磷菌吸收，并以 PHB 的形式贮存起来。据研究，厌氧段释放 1 g 磷所吸收贮存的有机物，经好氧分解产生的能量，除了合成外还能吸收 2.42 g 磷。磷的吸收取决于磷的释放，而磷的释放又取决于基质浓度，这就需要保证一定的 C/P 比。对一般城市污水，当 $BOD_5/TP<20$ 时，除磷效果很差，所以，城市生活污水脱氮除磷多要求 $BOD_5$ 负荷以 0.15～0.25 kg$BOD_5$/ kg MLSS·d 为宜。

### 3.2 DO

在好氧硝化阶段，DO 与硝化菌比生长速率间满足莫诺方程：$(\mu)_N=(\mu_m)_N[O_2]/(KO+[O_2])$，由于硝化菌增殖对 DO 比较敏感，DO 过低就会限止硝化菌的增殖，导致其从系统中淘汰，从而影响脱氮效果。为了得到较高的脱氮效率，首先必须尽可能使进入好氧段污水中的 $NH_4^+$–N 完全氧化成 $NO_3^-$–N，理论计算表明，氧化 1 g$NH_4^+$–N 需 $O_2$4.57g，同时进水中大量有机物需同时氧化，并且磷吸收也需耗氧，只有提供能满足三者要求的氧才能足以保证硝化反应的进行，一般 DO 维持在 1.5～2 mg/L 即可。

在缺氧反硝化段，脱氮菌的呼吸作用是利用 $NO_3^-$ 中的氧进行呼吸而使 $NO_3^-$–N 转化成 $N_2$，DO 值过大会抑制该作用的进行。为了脱氮、控制反硝化段的 DO 是很有必要的，但若好氧段出流的 DO 太低，未被氧化的有机物因在二沉池中利用 $NO_3^-$ 中的氧而使 $NO_3^-$ 在污泥中进行反硝化产生 $N_2$，$N_2$ 上升将影响泥水分离，所以，DO 要适当控制。对于悬浮污泥法，多以 DO<0.5 mg/L 为好。

### 3.3 水　温

微生物酶系统对温度比较敏感。在好氧阶段，$K_N=10^{0.051t-1.158}$、$(u_{max})_{NT}=(u_{max})_{N20}\cdot\times 1.079^{(t-20)}$，水温越低，饱和常数 $K_N$ 值越低、硝化速率也越低。硝化菌生长的最适宜温度是 30～35℃，当温度下降到 10℃ 以下时，硝化反应速度及 $C_{有机}$的氧化速率将明显下降。对于缺氧段的反硝化过程，比脱氧速率 $q_{DN}=0.07\times 1.06^{(T-20)}$，脱氮的最适宜温度是 20～38℃，当 $t<15$℃ 时，反硝化菌的生长速率明显下降，$t<3$℃ 时反硝化菌的生长基本停止。温度对磷的去除没什么影响，因为聚磷菌有高、中、低温 3 种，其中低温菌又有专性和兼性的，当水温低于 10℃ 时，低温兼性菌占了优势，其增殖速度受温度影响很小。

### 3.4 回 流 比

回流比包括污泥回流比和混合液回流比两部分。在完全硝化条件下，回流比与氮的去除率之关系为 $\eta=R/(1+R)$，回流比越小，$NO_3^-$ 进入二沉池的机会越大，并导致部分随出水流出，部分在污泥中反硝化，并同时给泥水分离带来不良影响，从而降低脱氮效果。相反，提高回流比，能增大脱氮效率，但从实践上讲，增加回流比，其耗能增加，去除效果提高也不显著。故应依据出水水质确定回流比，对于城市生活污水，一般 $R$ 在 1～3 范围内。

### 3.5 水力停留时间

（1）氧化段：由于 $COD_B$ 的降解和磷的吸收在硝化完成之前结束，其水力停留时间由硝

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki

化时间的长短来确定，一般为3.5～6 h。

（2）缺氧段：该段反应时间的长短与反硝化速率密切相关，考虑到温度的影响，其水力停留时间应以低温状态反硝化速率为依据，一般为1～1.5 h。

（3）厌氧段：应以进水和回流污泥 $NO_3^-$-N 在厌氧段的反硝化时间以及磷释放速率来确定，一般为0.5～1 h。若进水 $COD_B$ 高则停留时间短，反之需相应延长停留时间，以利于 $COD_{nB}$ 开环和断链，提高 $COD_B$ 的含量。

### 3.6 碱 度

硝化与反硝化反应分别消耗与产生了碱度，从而导致废水、污水的pH值的变化。高硝化速率出现在 pH＝7.8～8.4 的范围内，当pH值偏离此范围时，硝化反应就会受到抑制，当 pH＜6 或 pH＞9 时，硝化反应将停止。同样，当pH偏离6.5～7.5时，反硝化也会受到很大影响。对于工业废水或含大量工业废水的生活污水，pH值过低还会导致污泥中的重金属重返污水中，并毒害微生物，抑制硝化与反硝化作用的进行[1][2]。

### 3.7 污泥龄与 $BOD_5$ 负荷

污泥龄对系统的影响与 $BOD_5$ 负荷是等效的，污泥龄大则 $BOD_5$ 负荷小，硝化过程稳定性就好。

## 4 生物脱氮除磷技术在水处理中的应用

生物脱氮除磷技术能适应不同的进水水质，能降解许多难生物降解的稠环芳烃和杂环化合物，能处理含高浓度氨氮的工业废水，脱氮效果好，已被广泛地用于城市生活污水处理、工业废水处理和中水回用工程。自80年代后期开始，我国先后在上海、广州等地建设了一批生物脱氮除磷的生活污水处理厂（表1）。我国一些研究院所、高等院校对高浓度氨氮的焦化废水、石

**表1 生物脱氮除磷污水处理厂情况①②③**

Table 1 Waste water treatment works station of bio-denitro and bio-denipho

| 污水厂名称 | 广州大坦沙 | 太原北郊 | 上海周浦 | 上海吴淞 | 上海长桥 | 上海闵行 | 上海闵行区 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 工艺流程 | $A^2/O$ | $A^2/O$ | 二段A/O | 单级前置反硝化 | 单级前置反硝化 | 单级前置反硝化 | 单级前置反硝化 |
| 规模/$10^4 m^3 \cdot d^{-1}$ | 15 | 1 | 1.2 | 4 | 2.2 | 5 | 1 |

①上海市政工程管理局科学技术情报网. 全国主要城市污水处理厂概况汇编, 1991； ②金瑞瑶. 生物脱氮除磷活性污泥法工艺在城镇污水处理中的应用. 给水排水技术动态, 1992； ③陆嘉闳. 上海市城市污水厂脱氮情况介绍. 中国-联邦德国脱氮除磷和节能曝气技术研讨会论文集, 1995

化废水进行了小试和中试，先后建成或建设乘上海焦化总厂、上海石化总厂、常州焦化厂、安阳钢铁公司焦化厂等废水处理站[①②]，其中前二者已投入运行多年。此外，还研究了生物铁对A/O工艺的促进作用[③]，傅威等还研究了高浓度有机废水作为焦化废水生物脱氮的补充C源[④]，也取

①章非娟等. 焦化废水深度处理研究（上海科学技术发展基金项目）, 1990. 11； ②鞍山焦化耐火材料设计研究院. 安阳钢铁公司焦化厂酚氰废水处理站初步设计, 1994. 12； ③李关祥. 高含氨氮废水的生物处理脱氮. 给水排水技术动态, 1991（3）； ④傅威, 章非娟. 高浓度有机废水生物脱氮处理补充碳源的研究. 中国-联邦德国脱氮除磷和节能曝气技术研讨会论文集, 1995

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

得了一些成果。在废水深度处理与中水回用方面，我国已先后在北京黄村、大连春柳、山东泰安、天津东郊、北京高碑店等建成了不同规模的污水深度处理工程。其出水用于锅炉补充水、工业冷却水、城市景观用水、染料冲洗工艺用水、电厂用水等[1][3]，并已取得很好的社会、经济和环境效益。

## 参 考 文 献

1 严煦世. 水和废水技术研究. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992. 450～590, 591～649

2 钱易. 现代废水处理新技术. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 19～30

3 金鉴明. 水污染防治及城市污水资源化技术(成果汇编). 北京: 科学出版社, 1993. 522～590, 632～658

# BIO–DENITRO AND BIO–DENIPHO TECHNOLOGY AND ITS APPLICATION TO WASTEWATER TREATMENT

Cheng Guanwen

(*Department of Environmental Science, Guilin Institute of Technology*)

**Abstract** Bio–Denitro and Bio–Denipho Technology is a new wastewater treatment technology. It is elected and used in urban wastewater and industrial wastewater treatment for its technical feasibility and economic reasonability. The article emphatically introduces will the basic theory of Bio–Denitro and Bio–Denipho process and influential factors, it also summarises the progress of the process in municipal wastewater treatment, industrial wastewater treatment and medium–water reuse in China.

**Key words** urban wastewater; industrial wastewater; reusing; Bio–Denitro and –Denipho; mechanism

?1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki