

从进水碳源角度分析改良 A2O 工艺生物除磷作用

李枫 姜健

(大连博多科技开发有限公司)

摘要: 污水厂进水碳源浓度偏低成为污水厂生物除磷效果较差的最主要因素。单方面加大进水 C 源的浓度可以大大提高生化除磷率, 可以达到 76% 以上。从运行经验看乙酸钠最好的碳源, 对于改良 A2O 工艺, 通过预缺氧段和厌氧段的配水比可以有效控制厌氧区的碳源分配比可以尽可能使生物除磷充分利用原水中的 C 源, 从而提高生物除磷的去除率。

关键词: 生物除磷; 碳源; 改良 A2O; 脱氮除磷; VFA

目前, 我国水环境富营养化污染严重, 而氮磷化合物的污染正是富营养化根源。当前的新建污水厂所采用的工艺也都具备脱氮除磷功能。对于污水厂来说, 除磷的效果却一直不佳, 这主要原因是原水中缺乏适应于反硝化和释磷作用所必需的有机碳源。

1 生物除磷反应机理

1.1 释磷反应过程

具有生物除磷功能的异养细菌被称为聚磷菌 (PAOs)。在厌氧环境中, 挥发性脂肪酸 (VFA) 以被动扩散的形式进入细胞, 而 PAOs 将多聚磷酸盐 (PolyP) 分解生成磷酸盐释放出细胞外, 同时产生能量将 ADP 转化为 ATP。ATP/ADP 循环促使 VFA 在 PAOs 内转化为乙酰辅酶 A, 而乙酰辅酶 A 又通过糖酵解提供的还原性物质 (NADH + H⁺) 进行 PHB 合成。如果没有足够的 PolyP 分解则无法产生 ATP, VFA 也只能累积在 PAOs 胞内而无法被吸收, 更无法转化为 PHB。同样, 如没有足够的 VFA, PHB 缺少底物一样无法合成。因此, PolyP 和 VFA 是形成 PHB 的必要条件 (以上过程见图 1)。

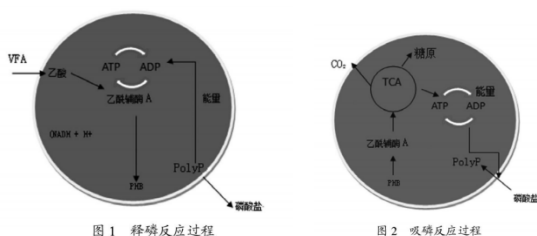


图 1 释磷反应过程

1.2 吸磷反应过程

当污泥混合液刚进入好氧段时, PAOs 中贮存有大量的 PHB 而 PolyP 含量较低, 污水中无机磷酸盐含量则很丰富, PAOs 在好氧段中以 O₂ 作为电子受体, 利用胞内 PHB 作为碳源及能源进行正常的好氧代谢, 通过氧化磷酸化生成 ATP。ATP 又为 PAOs 吸收磷酸盐并重新合成 PolyP 存于细胞内而提供能量支持。由于 PHB 的好氧代谢能够提供大量能量, 从而形成大量 ATP, 因此, PAOs 可以吸附污水中的磷酸盐 (以上过程见图 2)。

1.3 生物除磷的主要影响因素

由以上反应机理可知, PHB 的生成是生化除磷的必要条件, 若在厌氧区状态下无法生成 PHB, 即使释放了磷酸盐, 也只是无效释磷, PAOs 无法在好氧区对释放的磷酸盐进行吸收。而形成 PHB 的主要影响因素有:

(1) 进水碳源。进水中一般 VFA 的浓度很低, 但是若进水中具有较高的可降解有机物浓度, 通过水解酸化反应, 也能够形成较高浓度的 VFA。因此, 释磷反应与进水中是否含有充足可降解有机物, 且有机物是否包含足够 VFA 或者较容易水解酸化生成 VFA 有关。

NADH 具有强还原性, 当环境为还原性时, 反应向右进行; 而环境为氧化性时, 反应向左进行, 此时 NADH 会大量转化为 NAD⁺, 进而乙酰辅酶 A 无法生成, 最终导致无法形成 PHB。

2 关于 C 源对生物除磷影响的实验分析

2.1 碳源种类对除磷的影响

有学者研究表明: 分子链越长, 释磷效果越差, 酸类释磷效果比醇类、糖类要好。本实验中采用四种常见的基质, 研究其作为外加碳源提高生物除磷率的可能性。

(1) 实验方法。

在 2L 圆口玻璃瓶装入 1.5L 污泥混合液, 放置澄清, 倒掉上清液, 加入原水至 1.5L。接入搅拌器, 盖上瓶盖, 厌氧过程保证 DO < 0.2mg/L, 好氧过程采用小型风机给予曝气, 保证 DO > 2.0mg/L。

取某污水厂厌氧区污泥分别装入 1#、2#、3#、4# 四个瓶子中, 每瓶装入 1.5L, 分别加入乙酸钠、淀粉、酒精、葡萄糖四种底物作外加营养源, 维持厌氧 2h, 好氧 5h, 静沉 1h, 静沉 1h 后的上清液为反应器处理后出水, 排掉上清液在加入原水, 至此结束一个周期。每天 3 个周期, 即每个反应器每天处理 4.5L 污水。定期测定不同 C 源反应器的出水 TP, 确定去除效果。

(2) 测试方法。

总磷浓度采用钼锑抗分光光度法, 且为避免实验误差实验中除原水外其它均为溶解性 TP。

硝酸盐氮浓度采用盐酸-氨基磺酸分光光度法。COD 采用重铬酸钾消解法。

(3) 研究结论。

(1) 四种营养源中乙酸钠对除磷的促进效果最好，其次是乙醇、葡萄糖。淀粉对除磷的促进效果最差。

(2) 随着营养源的添加量变化，TP 处理效果也变化，营养源越多 TP 处理效果越好。

(3) TP 处理效果较好的情况下，一旦营养源不足。污泥会大量无效释磷，出水 TP 猛增。

(4) 乙酸钠的投加浓度大于 11mg/L (0.025g/4.5L) 的情况下，生物除磷的去除率就可达到较高值，但不稳定，若在 22mg/L (0.05g/4.5L) 浓度下，能够确保稳定。

2.2 充足碳源下除磷效果

取 1.5L 某厂厌氧区污泥置反应器中，澄清后，倒掉上清液，加原水至 1.5L，加入 0.04g 乙酸钠。厌氧反应 1.5h，好氧反应 5h。

可知，加入 0.04g 乙酸钠（相当于 23.4mg SCOD，浓度 26.67mg/L），已达到较高的释磷率（>300%），TP 去除率也较高，达到 76%。另外，在 DO 的最高值出现对应的反弹现象，初步分析可能是污泥因 DO 过高而产生自溶，造成无效释磷。降低 DO 后吸磷作用开始好转。

由此可见，加入一定量的乙酸钠，短期之内释磷率就能升高，去除率也处于较高值，但是好氧阶段 DO 不宜过高，否则会产生细胞过度氧化而自溶，造成无效释磷影响出水 TP。

3 其他强化除磷措施

根据生物除磷的反应机理和改良 A2O 工艺的特点，还有以下措施可以强化生物除磷

(1) 适当减小内外回流量。一来尽量避免硝酸盐氮进水厌氧区影响释磷环境。二来抑制反硝化作用，使生物除磷获得更多碳源。

(2) 适度减小好氧区 DO。在 C 源不足的情况，DO 过高可能会造成聚磷菌在好氧区因为缺少底物而发生内源呼吸，即细胞自溶

无效释磷，导致出水 TP 上升。另外，在厌氧区与聚磷菌竞争的还有聚糖原菌，该菌在厌氧区释放磷酸盐但是在好氧环境下不能吸收磷酸盐。将 DO 控制在较低值（但不低于 1.5mg/L）可以有效抑制聚糖原菌生长。

(3) 控制合适的泥龄。将泥龄控制在适宜于聚磷菌的生长周期，可以有效促进聚磷菌的生长，但前提是要保证硝化菌正常生长。

(4) 利用剩余污泥在储泥池的停留阶段，促使污泥水解酸化产生高浓度 VFA 上清液。利用上清液回流补充进水 C 源。

4 总结

(1) 由生物聚磷的反应机理可以看出，聚磷菌在厌氧状态下形成 PHB 是生物除磷的关键，而形成 PHB 的关键是在于进水是否有适量、适宜的有机碳源供聚磷菌利用。

(2) 有机碳源中以短链的 FVA 最为适合，供聚磷菌利用。当然长链的有机酸通过水解酸化形成足够的 VFA 也可以有效利用。其中乙酸钠无疑为最好的碳源之一，通过小试验证，乙酸钠在浓度 20-30mg/l 促进生物除磷作用明显且足够稳定。

(3) 改良 A2O 工艺预缺氧和厌氧的配水比是提高脱氮除磷的有效手段。一般控制在 0.5~1 较为合适。但具体情况还受到内外回流、泥龄、DO、进水水质情况的影响，污水厂应根据进出水实际情况合理调配。

参考文献：

- [1] 田淑媛，王景峰，杨睿，等.厌氧下的 PHB 和聚磷酸盐及其生化机理研究[J].中国给水排水，2000，6（7）：5-7.
- [2] 王迪，杨凤林，周军，等.碳源对好氧颗粒污泥物理性状及除磷性能的影响[J].中国给水排水，2007（05）：2081-2085.