

详解污水处理A2O工艺技术改造路线

污水处理传统A2O工艺是一项具有脱氮除磷功能的典型污水处理技术，该工艺结构简单、水力停留时间（HRT）短且易于控制，多数污水厂都是采用传统A2O工艺进行污水处理。

然而，生物脱氮除磷的过程中涉及硝化、反硝化、摄磷和释磷等多个生化过程，而每个过程对微生物组成、基质类型及环境条件的要求存在许多差异。

在传统A2O工艺的单泥系统中高效地完成脱氮和除磷两个过程，就会发生各种矛盾冲突，比如泥龄的矛盾、碳源竞争、硝酸盐及溶解氧（DO）残余干扰等。

传统A2O工艺存在的矛盾

01污泥龄矛盾

传统A2O工艺属于单泥系统，聚磷菌（PAOs）、反硝化菌和硝化菌等功能微生物混合生长于同一系统中，而各类微生物实现其功能最大化所需的泥龄不同：

1) 自养硝化菌与普通异养好氧菌和反硝化菌相比，硝化菌的世代周期较长，欲使其成为优势菌群，需控制系统在长泥龄状态下运行。冬季系统具有良好硝化效果时的污泥龄（SRT）需控制在30d以上；即使夏季，若 $SRT < 5d$ ，系统的硝化效果将显得极其微弱。

2) PAOs属短世代周期微生物，甚至其最大世代周期（ G_{max} ）都小于硝化菌的最小世代周期（ G_{min} ）。

从生物除磷角度分析富磷污泥的排放是实现系统磷减量化的唯一渠道。

若排泥不及时，一方面会因PAOs的内源呼吸使胞内糖原（Glycogen）消耗殆尽，进而影响厌氧区乙酸盐的吸收及聚-β-羟基烷酸（PHAs）的贮存，系统除磷率下降，严重时甚至造成富磷污泥磷的二次释放；另一方面，SRT也影响到系统内PAOs和聚糖菌（GAOs）的优势生长。

在30 d的长泥龄（ $SRT = 10d$ ）厌氧环境中，GAOs对乙酸盐的吸收速率高于PAOs，使其在系统中占主导地位，影响PAOs释磷行为的充分发挥。

02碳源竞争及硝酸盐和DO残余干扰

在传统A2O脱氮除磷系统中，碳源主要消耗于释磷、反硝化和异养菌的正常代谢等方面，其中释磷和反硝化速率与进水碳源中易降解部分的含量有很大关系。一般而言，要同时完成脱氮和除磷两个过程，进水的碳氮比（ $BOD_5 / (TN) > 4 \sim 5$ ，碳磷比（ $BOD_5 / (TP) > 20 \sim 30$ ）。

当碳源含量低于此时，因前端厌氧区PAOs吸收进水中挥发性脂肪酸（VFAs）及醇类等易降解发酵产物完成其细胞内PHAs的合成，使得后续缺氧区没有足够的优质碳源而抑制反硝化潜力的充分发挥，降低了系统对TN的脱除效率。

反硝化菌以内碳源和甲醇或VFAs类为碳源时的反硝化速率分别为 $17 \sim 48$ 、 $120 \sim 900 mg / (g \cdot d)$ 。因反硝化不彻底而残余的硝酸盐随外回流污泥进入厌氧区，反硝化菌将优先于PAOs利用环境中的有机物进行反硝化脱氮，干扰厌氧释磷的正常进行，最终影响系统对磷的高效去除。

一般，当厌氧区的 NO_3-N 的质量浓度 $> 1.0 mg / L$ 时，会对PAOs释磷产生抑制，当其达到 $3 \sim 4 mg / L$ 时，PAOs的释磷行为几乎完全被抑制，释磷（ PO_4^{3--P} ）速率降至 $2.4 mg / (g \cdot d)$ 。

按照回流位置的不同，溶解氧（DO）残余干扰主要包括：

1) 从分子态氧（ O_2 ）和硝酸盐（ NO_3-N ）作为电子受体的氧化产能数据分析，以 O_2 作为电子受体的产能约为 NO_3-N 的1.5倍，因此当系统中同时存在 O_2 和 NO_3-N 时，反硝化菌及普通异养菌将优先以 O_2 为电子受体进行产能代谢。

2) 氧的存在破坏了PAOs释磷所需的“厌氧压抑”环境，致使厌氧菌以O₂为终电子受体而抑制其发酵产酸作用，妨碍磷的正常释放，同时也将导致好氧异养菌与PAOs进行碳源竞争。

一般厌氧区的DO的质量浓度应严格控制在0.2mg/L以下。从某种意义上来说硝酸盐及DO残余干扰释磷或反硝化过程归根还是功能菌对碳源的竞争问题。

传统A2O工艺改进策略分析

01基于SRT矛盾的复合式

A2O工艺在传统A2O工艺的好氧区投加浮动载体填料，使载体表面附着生长自养硝化菌，而PAOs和反硝化菌则处于悬浮生长状态，这样附着态的自养硝化菌的SRT相对独立，其硝化速率受短SRT排泥的影响较小，甚至在一定程度上得到强化。

悬浮污泥SRT、填料投配比及投配位置的选择不仅要考虑硝化的增强程度，还要考虑悬浮态污泥含量降低对系统反硝化和除磷的负面影响。

载体填料的投配并不意味可大幅度增加系统排泥量，缩短悬浮污泥SRT以提高系统除磷效率；相反，SRT的缩短可能降低悬浮态污泥（MLSS）含量，从而影响系统的反硝化效果，甚至造成除磷效果恶化。

有研究表明，当悬浮污泥SRT控制为5d时，复合式A2O工艺的硝化效果与传统A2O工艺相比，两者的硝化效果无明显差异，复合式A2O工艺的载体填料不能完全独立地发挥其硝化性能；若再降低悬浮污泥SRT则因系统悬浮污泥含量的降低致使硝酸盐积累，影响厌氧磷的正常释放。

02基于“碳源竞争”角度的工艺

解决传统A2O工艺碳源竞争及其硝酸盐和DO残余干扰释磷或反硝化的问题，主要集中在3方面：

针对碳源竞争采取的解决策略，如补充外碳源、反硝化和释磷重新分配碳源（如倒置A2O工艺）等；

解决硝酸盐干扰释磷提出的工艺改革，如JHB、UCT、MUCT等工艺；

针对DO残余干扰释磷、反硝化的问题，可在好氧区末端增设适当容积的“非曝气区”。

1、补充外碳源

补充外碳源是在不改变原有工艺池体结构及各功能区顺序的情况下，针对短期内因水质波动引起碳源不足而提出的应急措施。一般供选择的碳源可分为2类：

1) 甲醇、乙醇、葡萄糖和乙酸钠等有机化合物；

2) 可替代有机碳源，如厌氧消化污泥上清液、木屑、牲畜或家禽粪便及含高碳源的工业废水等。相对糖类、纤维素等高碳物质而言，因微生物以低分子碳水化合物（如，甲醇、乙酸钠等）为碳源进行合成代谢时所需能量较大，使其更倾向于利用此类碳源进行分解代谢，如反硝化等。

任何外碳源的投加都要使系统经历一定的适应期，方可达到预期的效果。

针对要解决的矛盾主体选择合适的碳源投加点对系统的稳定运行和节能降耗至关重要。一般在厌氧区投加外碳源不仅能改善系统除磷效果，而且可增强系统的反硝化潜能；但是若反硝化碳源严重不足致使系统TN脱除欠佳时，应优先考虑向缺氧区投加。

2、倒置A2O工艺及其改良工艺

传统A2O工艺以牺牲系统的反硝化速率为前提，优先考虑释磷对碳源的需求，而将厌氧区置于工艺前端，缺氧区后置，忽视了释磷本身并非除磷工艺的目的所在。

从除磷角度分析可知，倒置A2O工艺还具有2个优势：

“饥饿效应”。PAOs厌氧释磷后直接进入生化效率较高的好氧环境，其在厌氧条件下形成的摄磷驱动力可以得到充分地利用。

“群体效应”。允许所有参与回流的污泥经历完整的释磷、摄磷过程。然而有研究者认为，倒置A2O工艺的布置形式。

3、JHB、UCT及改良UCT工艺

与分点进水倒置A2O工艺相比，JHB（亦称A+A2O工艺）和UCT工艺的设计初衷是通过改变外回流位点以解决硝酸盐、DO残余干扰释磷。

JHB工艺中的氮素的脱除主要发生在污泥反硝化区和缺氧区，且两者的脱除量相当，污泥反硝化区的设置改变了氮素在各功能区的分配比例，使厌氧区能够更好地专注于释磷。

与倒置A2O工艺相同，对于低C/N进水而言，JHB工艺污泥反硝化区的设置可能会引起后续各功能区的碳源不足，为此也有必要采用分点进水方式。

与倒置A2O工艺不同，UCT工艺是在不改变传统A2O工艺各功能区空间位置的情况下，污泥先回流至缺氧区，使其经历反硝化脱氮后，再通过缺氧区的混合液回流至厌氧区，避免了回流污泥中硝酸盐、DO对厌氧释磷的干扰。

在进水C/N适中的情况下，缺氧区的反硝化作用可使回流至厌氧区的混合液中硝酸盐的含量接近于0；而当进水C/N较低时，UCT工艺中的缺氧区可能无法实现氮的完全脱除，仍有部分硝酸盐进入厌氧区，因此又产生了改良UCT工艺（MUCT）。

与UCT工艺相比，MUCT将传统A2O工艺中的缺氧区分隔为2个独立区域，前缺氧区接受来自二沉池的回流污泥，后缺氧区接受好氧区的硝化液，从而使外回流污泥的反硝化与内回流硝化液的反硝化完全分离，进一步减少了硝酸盐对厌氧释磷的影响。

无论UCT还是MUCT，回流系统的改变强化了厌氧、缺氧的交替环境，使其与JHB一样，缺氧区容易富集反硝化PAOs，实现同步脱氮除磷。

03兼顾SRT矛盾及“碳源竞争”工艺

1、新型双污泥脱氮除磷工艺

新型双污泥脱氮除磷工艺（PASF）工艺也可谓是传统A2O与曝气生物滤池（BAF）的组合工艺，是以分相培养为基础的双泥系统，能更好地满足各功能微生物对环境、营养物质及生存空间的最佳需求。

在工艺设计及运行过程中，通过缩短前端A2O工艺好氧区的HRT，将硝化过程从中分离而顺序“嫁接”于二沉池后端的BAF。

对于PAOs的厌氧释磷而言，因前端的污泥单元不承担硝化功能，在理想条件下外回流污泥中不含有硝酸盐，为PAOs释磷创造了良好的“压抑”环境，使其优先利用原水中的VFAs类物质合成PHAs并释放磷；

再者，也因长SRT硝化菌以生物膜形式固着生长在填料表面而短SRT的PAOs和反硝化菌呈悬浮态生长在前端的污泥单元，实现了硝化菌与反硝化菌、PAOs等功能微生物的SRT分离，缓解了SRT矛盾。

决定缺氧区反硝化效果的因素主要有2个：进入缺氧区的优质碳源（VFAs和PHAs）含量及来自BAF的内回流硝化液中的硝酸盐含量。

当进水C/N较高时，硝酸盐成为反硝化的限制因子，随着内回流比的增大缺氧区异养反硝化效果也相应提高，但升高幅度却呈递减趋势；

而当进水C/N较低时，因碳源成为反硝化的限制因子，根据异养反硝化菌和反硝化PAOs对电子受体的竞争机制，适当提高内回流硝酸盐负荷的方式刺激反硝化聚磷菌（DPAOs）的优势生长，使其以硝酸盐为电子受体，并以PHAs为电子供体进行同步反硝化脱氮除磷，实现“一碳两用”，同时可节省系统的能耗，减少污泥产量。

2、双循环两相生物处理工艺

双循环两相生物处理工艺（BICT）是在序批式活性污泥法的基础上，增设独立的生物膜硝化反应器，使自养硝化菌与反硝化菌、PAOs等异养菌分相培养，以克服脱氮与除磷间的SRT矛盾及硝酸盐、DO干扰释磷而开发的污水处理新工艺，其主体单元由厌氧生物选择器、序批式悬浮污泥主反应器、生物膜硝化反应器组成。

该工艺正常运行时主要完成4个操作过程：

1) 进水、曝气搅拌+污泥回流

原水与沉淀池的回流污泥在厌氧生物选择器内混合接触，借助高负荷梯度产生的“选择压力”筛选出具有良好絮凝性的细菌，并使PAOs厌氧释磷。此时，主反应器在曝气搅拌的作用下，完成COD的去除及PAOs的超量摄磷；

2) 缺氧搅拌+硝化液回流

主反应器接受来自生物膜反应器的硝化液，在机械搅拌作用下，完成反硝化脱氮，同时被挤出的混合液进入沉淀池，经沉淀分离后上清液进入生物膜硝化反应器；

3) 再曝气（可选做）

吹脱污泥中包裹的氮气以利于泥水分离，也可强化PAOs的好氧摄磷；

4) 静止沉淀、滗水

静止沉淀的同时排出富磷污泥。此工艺独立硝化反应单元的设置消除了SRT与硝化的高度关联性，SRT不再是影响系统脱氮效率的限制因子。

3、BCFS工艺

BCFS工艺（BiologischeChemischeFosfaatStikstofverwijdering）可实现磷的完全去除和氮的最佳脱除。

与UCT工艺相比，BCFS工艺在主流线上增设2个反应区——接触区和混合区。

介于厌氧区与缺氧区之间的接触区相当于第2选择池，可以有效控制丝状菌的异常生长，防止污泥膨胀的发生；另外，也因回流污泥先回流于此进行反硝化脱氮反应，给PAOs厌氧释磷营造了良好的“压抑”环境。

介于缺氧区与好氧区之间的混合区相当于一个“机动单元”，可通过曝气系统的启闭灵活地控制其前端好氧区和后端缺氧区的氧化还原电位，也可在低C/N条件下诱导反硝化PAOs成为优势菌群而发挥同步脱氮除磷，实现“一碳两用”。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/115379.html>