



活性污泥生物相的组成及变化规律

——处理含酚废水的活性污泥

张 保 俊

(河南省南阳地区环境监测站)

用活性污泥的生化原理来处理工业废水和生活废水,是国内外广泛采用的污水处理方法。活性污泥法一般可分为“悬浮式”活性污泥法——传统鼓风曝气,完全混合式曝气等和“固定式”活性污泥法——生物滤池、转盘等。不同的活性污泥法,它们的生物相是有差异的。本文主要针对完全混合式表曝法处理炼油含酚废水的活性污泥中生物相的组成及变化规律,提出一些探讨性看法。

一、加速表曝池的生物工程原理

表面加速曝气法是完全混合式曝气的一种工艺形式。工作原理主要靠表曝叶轮的搅拌和提升,使进水和回流污泥与池中原有混合液快速混合,因此在曝气池内的任何一点上,其混合液的组成(BOD)、生物密度(MISS)、生长和耗氧状况基本相同,所以对进水有较大均化能力,使得净化速度快,处理效果好。

处于运转中的表曝池,正常条件下,曝气区的溶解氧及澄清区的剩余溶解氧,与表曝叶轮的外围线速成正比,同时受叶轮的型号、直径及吃水深度等条件的影响。

表曝池中的活性污泥起主导作用的是好氧微生物,水中溶解氧是其生命活动的动力,它们利用氧化酶来激活氧,使其成为受氢体,在脱氢酶等多酶系的作用下,完成对有机物的分解及自身合成。溶解氧的高低,决定好

氧微生物对污水的净化能力。污泥的最初驯化指标及运转污泥的进水负荷,是控制表曝的中心问题。总的原则是污泥浓度(MISS)、进水负荷(BOD或单一毒物)、溶解氧(DO)这三者间维持平衡。这个平衡是活性污泥生化平衡的实际表现。

表曝池中的微生物是处于对数期的。对数期的细胞,分裂世代稳定,世代间隔一般为20—30分钟,子代细胞的生理特性及形态基本一致,因此在科研及实用上都利用处于对数期的细胞。这个时期的细胞,对环境要求较严格,需要的营养比类似于土壤微生物($C:N:P = 100:5:1$)。控制上常用的 $C:N = 25:1$ 即出于此。如果不能满足这个营养比或水中的溶解氧含量不合理,污泥的生化平衡就会受到不同程度的影响,对数期生物就会进入适应期或静止期或衰亡期,从而降低或破坏污泥的活性,是引起表曝处理不稳定的主要原因。

二、活性污泥中的生物相组成及变化规律

利用活性污泥法的目的及工艺形式不同,其生物相的构成及优势菌是有很大差异的。这里主要讨论在处理炼油含酚废水中活性污泥的生物相组成及变化规律。

1. 菌胶团菌(*Zoogloea*) 活性污泥中,以具有荚膜的短杆菌为优势菌。一般说来,细

菌的荚膜相互融合而成为菌胶团。有些和优势菌形成互生关系的杂菌,如硫磺菌、铁细菌、球衣菌等也有荚膜,但已硬化为鞘。荚膜是细菌用于抵抗不良环境和吸收营养的适应性结构。菌胶团和污泥的外聚合物成份基本一致,不外乎氨基酸、葡萄糖、半乳糖、羟基丁酸、纤维素类及肽类物质,属于微生物的代谢产物^[2]。这些物质整体是一种具有粘聚力的胶状物质,因此使污泥具有较快的凝聚能力。正常活性的污泥,是一种棕黄色的均匀透明的胶絮结构,沉降性好,一般5分钟可沉降50%,指数(SVI)在50—280之间。

胶絮结构使污泥具有较大的吸附面积,吸附能力可与活性炭相比。因此污水中的有机颗粒会很快被吸附在污泥表面,部分被细菌的胞外酶分解。污水中的可溶性物质可降低水的表面张力,并依靠分压差被污泥直接吸收,但吸收较慢,然而一旦被微生物代谢,便会较快地被分解。正常情况下,污泥吸收的有机物约57%被氧化,43%成为新胞体或胞内贮存物。

吸附在污泥表面的有机颗粒,还有一部分被污泥表面的活性生物(纤毛虫等)所摄食,起到净化的作用。

能形成菌胶团的细菌,是一类具有丰厚荚膜的细菌,这些胞外堆积物,是形成菌胶团和活性污泥凝聚的物质基础。属于这类菌的主要有:极毛杆菌属(*Pseudomonas*)。菌胶团杆菌属(*Zoogloea* sp.)。黄杆菌属(*Flavobacterium*)等。

从活性污泥中分离出的菌胶团中的菌株,极毛杆菌约占一半以上,是绝对优势^[2]。武汉微生物研究所,从处理含酚废水的污泥中,分离出两种解酚能力很强的菌株:食酚极毛杆菌(*Pseudomonas phenolphagum*)和解酚极毛杆菌(*Pseudomonas phenolioum*)。这两种菌前者可在20小时分解0.1%浓度的酚,后者稍差,但二者都能在0.2%的酚液中生长。

去酚菌是把酚作为碳源和能源来利用的。在好氧条件下,利用多酚氧化酶把酚氧化分解,部分中间产物作为细胞构造,其余氧化分解为 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{能}$ 。

2. 其它细菌 炼油废水中除含有酚、氨氮外,还含有一定量的硫、油及其它物质。硫、油对去酚菌有干扰抑制作用,但硫磺菌对硫、假枝酵母菌等对油都是赖以存在的条件。在处理炼油废水的污泥中,这些处于次要地位的微生物和主导菌存在一种有益的互生关系。还有一些菌如硝化细菌等,在特定条件下过于生长旺盛,会和主导菌形成一种有害的拮抗作用。研究和控制这些杂菌,会有利于污泥活性的提高和稳定。

(1) 硫磺菌经常在污泥中出现的种类有奇异贝氏硫细菌(*Beggiatoa mirabilis*)和丝硫细菌属(*Thiothrix*)。它们能将炼油废水中的硫氧化为元素硫贮于胞内,当环境中硫缺乏时,又能将胞内S进一步氧化为 H_2SO_4 再产生能量。这些能量可用于自身的生命活动,此类菌为化能自养菌。

另外,排硫杆菌、氧化硫杆菌也属于硫细菌,它们对硫的氧化方式与硫磺细菌相似,只是将获得的硫排于胞外。

(2) 球衣细菌(*Sphaeritilus*)是一种异养菌。在处理含酚废水的活性污泥中出现较少,但生长旺盛时,会影响污泥的沉降性能。

(3) 污泥中还存在少量能氧化分解石油烃类的细菌和酵母类。

3. 藻类 澄清区的水透光性好,因此有藻类生长。澄清区周围的溢流堰上有丰富的藻类生长。污泥中常出现少量球藻和丝藻,这可能是回流液带进的。据观察和初步实验,球藻对石油烃类有较强的分解能力。实验时将一块晒干的石头,一端浸上石油,另一端接种上小球藻的培养液,放在盛有少量水的烧杯中,在阳光下晒。可以看到随着藻膜在石面上延伸,油层便被分解,并且藻膜与油层从不接触。因此澄清区的藻类对出水含油量

能起到进一步净化的作用。

4. 原生动物 处理含酚废水的活性污泥,随着培养驯化到投付使用,污泥中出现的原生动物和少量后生动物的种类及数量有着明显的变化。污泥培养驯化初期,水中有机物含量很丰富,这时兼性厌氧的游离菌和植物性鞭毛虫很多,如素衣藻 (*Polytoma uvella*) 和眼虫藻 (*Englena*) 等,它们的鞭毛以抽鞭式运动,推动虫体移动与细菌争食,同时变形虫 (*Amoeba*) 也较多出现。随着水中有机物含量降低,便出现了以细菌为食的动物性鞭毛虫,如梨波豆虫 (*Bodo*) 和滴虫 (*Pleptomonas*) 等。这时污泥活性逐渐出现,并开始初步凝聚,水中出现了溶解氧,因此好氧游离菌很多,并大量出现游泳型纤毛虫,如草履虫 (*Paramecium caudatum*)、肾形虫 (*Colpidium*)、漫游虫 (*Lionotos*)、裂口虫 (*Amphileptus*) 等,它们吞食细菌的能力远远超过动物性鞭毛虫。只要游离菌多,游泳型纤毛虫就一直占优势。随着污泥活性的成熟,污泥便凝聚成胶絮结构,细菌被固定,游离菌显著减少,污水中的有机物也因被污泥吸收氧化而逐渐减少,溶解氧进一步提高,这时游泳型纤毛虫让位于固着型纤毛虫,如钟虫 (*Vorticella*) 和吸管虫 (*Suctorina*) 等,这类原生动物只需较低能量。污泥活性达到高峰时,混合液中的有机物会很快被去除,溶解氧较高,这时污泥中往往会出现钟虫的群体累枝虫 (*Epistylis*) 和盖纤虫 (*Opercularia*),同时出现简单的多细胞后生动物轮虫 (*Diurella*) 等。综上所述,这些生物随着水质的好转和溶解氧增高,它们渐次出现的特点是结构越来越复杂。这说明生物体越简单,越原始适应性就越强,这也是驯化污泥的依据。

原生动物在污泥中存在的意义:

(1) 有直接净化作用。污泥表面吸附的有机颗粒,相当一部分被原生动物吞食,使污泥表面的吸附活性再生。老化菌易脱离污泥而被原生动物吞食,这一方面可促进细菌更

新,另一方面可减少出水的细菌含量。

(2) 代谢产物有促进污泥凝聚的作用。根据镜检观察,发现污泥中经常有一些指状、圆形的透明胶体,在它的上边可以看到局部无菌区,而无色透明的边缘却有很多处于半固定和扩散可逆过程的细菌。这种胶液物的出现与大口钟虫的出现,有酷似的等时性,这或许可以印证 Curds (1963) 的看法^[3]。但是,Curds 认为纤毛虫排泄物的促凝作用,比细菌的这种作用还强,这种说法恐怕很难成立,因为有时无纤毛虫或纤毛虫很少而污泥凝聚性能仍然很好(个别特殊种类的活性污泥中,根本就不存在纤毛虫),细菌的生长势远远超过纤毛虫。

(3) 作为污泥活性的指示生物。根据原生动物特别是纤毛类原生动物在污泥中出现的种类、数量、个体活跃程度和繁殖方式等来判断污泥活性的变化,改变操作条件,这在污水生化处理实践中有着重要意义。这里仅以钟虫为例说明这种指示作用。

钟虫是一种高级的单细胞原生动物,细胞器分化较完善,好氧性强,对污水中毒物含量敏感。

活性较好的污泥胶絮体上,常可看到很多被尾柄固定的大口钟虫,虫体活跃,纤毛带打水速度快,尾柄弹拉频率高,食物泡形成及移动较快。此时虫体吞食量大,代谢旺盛,胞内压大,故胞体膨胀透明。在这同时胞体纵分裂速度较快。

曝气区的溶解氧过高或过低,都会不同程度的破坏污泥的生化平衡,使其活性下降。在这种情况下污泥中的钟虫数量显著减少并多为小口钟虫,虫体活力减退,胞内食物泡很少并移动很慢,有的甚至丧失了形成食物泡的能力,这时在虫体内可以看到游离的细菌。有的钟虫胞内物从胞口外流,在胞口形成一个泡。

若污泥活性继续恶化,这时污泥呈解胶状态,游离菌多了起来,这时钟虫脱柄现象严

重,脱柄后在尾部四周生出纤毛,胞口向下在水中游泳并雄性化,当游向固定的钟虫时,行有性接合,然后形成厚缘孢子混在污泥中,以抗不利环境。待污泥活性好转,处理效果变好时,厚缘孢子才又形成一个新的虫体。

污水处理厂利用钟虫的生态变化,来判断污泥活性的变化动向,以帮助及时发现问题,及时采取相应措施,使污泥活性保持在一个较好水平,是有一定的实践意义。

有时污泥中钟虫出现过多,往往它的群体累枝虫和盖纤虫及轮虫也会出现,这时污泥活性虽然很高,但生化平衡已向异化方向倾斜,这常常是过曝引起污泥膨胀的前兆。

三、活性污泥出现的几种特异现象

(一) 污泥上翻

污泥进入澄清区后,泥水不能正常分离,大量污泥呈片状。粒状或块状上浮并随出水流失,造成污泥浓度迅速下降,这种现象称为污泥的上翻。

1. 中毒性上翻 进水中毒物含量突增,超过污泥的适应浓度而使污泥中毒上翻。

(1) 油中毒 污泥只能忍耐和分解少量的油,油多时,污泥表面很快会吸附一层油,使污泥的浮力增大。污泥表面的油层隔绝了好氧微生物的氧源,使其变为内呼吸,加之这时兼性菌活动加强,使污泥内的有机物被消耗并产生气泡,从而使污泥在失去活性的同时,比重变轻而上漂流失。这时的污泥呈棕红色,泥内有很多油珠和气泡,呈大块状上浮。

(2) 硫中毒 炼油废水中的硫为还原态,当进水中硫含量突增时,造成曝气区溶解氧消失,澄清区水发白,污泥呈浅色碎片上翻。

(3) 进水酚含量突增时,部分活性较差的污泥因经不起冲击而脱胶,使出水变得浑浊。但污泥在受冲击后,措施得当会使污泥因此而提高活性。

中毒性上翻发生后,一般应停止进水,闷

曝。这不仅可以防止污泥继续流失,又能促使毒物分解。油中毒后可用清水喷洒洗油。在闷曝过程中根据污泥的性状好转,可缓慢进水,逐步增量至正常进水。高浓度废水,特别是硫、油含量高的,应予处理或稀释后再进入曝气池。

2. 过曝上翻 进水浓度(指 BOD 或酚)太低或进水量不足,曝气能力未能相应减弱,致使曝气池中的溶解氧直线上升,破坏了污泥的生化平衡,造成自身物质大量消耗,污泥因此脱胶,比重变轻,呈薄片状并吸附很多气泡,导致上漂流失。这时应及时降低叶轮转速,引进高浓度污水,便可抑制此种上翻。

(二) 污泥膨胀

这是污泥最严重而又难以控制的异常现象。上翻常是膨胀的先兆,并不是说一上翻就必膨胀,但膨胀前一般都会发生上翻。污泥膨胀时,澄清区的污泥不下沉而积聚起来,造成曝气区污泥越来越少,澄清区污泥却越积越多。这时澄清区上液很清,向下可以看到泥层呈云雾状翻卷上升,当泥层升到液面时,污泥便像泥浆一样外流。若不及时采取措施,会造成污泥全部流失而被迫停转。引起膨胀的原因分析如下:

1. 过曝是污泥膨胀的重要原因。过曝上翻继续加剧时,微生物营养严重缺乏,生化平衡彻底破坏,污泥中的微生物大量解体趋向矿化。这时污泥中的少量球衣菌,因环境对其有利代谢变得很旺盛,并迅速分解吸收污泥中的有机物,从而加剧了污泥的解体,并使其丝状体得到发展。丝状体的表面积大,增强了污泥的上浮力。膨胀时污泥的指数很高,可达 300—400 以上。

制止膨胀,有的加活性炭,有的加粘土以增加污泥比重使其下沉;有的加 $Al_2(SO_4)_3$ 等凝聚剂,强制污泥凝聚下沉;也有的加 0.1% 漂白粉来杀死丝状菌,以减轻污泥浮力。这些措施都是应急的不治本的方法。最好直接投加苯酚,同时引入生活污水或投加人粪尿、

氮肥等进行闷曝,这是治本的有效的方法。

2. 污泥浓度控制不当,不能及时排掉剩余污泥,或别的原因使污泥不能正常循环,延长了循环周期,致使相当数量的污泥处于溶解氧不足或根本无溶解氧的状态,造成污泥不同程度的厌氧分解。污泥在厌氧分解前会吸水产生水胀作用,结合水迅速增加,浮力变大而沉降性变差。结合水对污泥容积比,由正常的 90% 猛增到 380% 左右^[1]。遇到这种情况,可排掉一部分污泥,通畅污泥回流,加大叶轮提升力,使污泥正常循环,并可机械脱水。

污泥膨胀初期好控制,当发现曝气区的污泥浓度降低趋势明显时,就说明膨胀已有可能发生,应采取制止措施。

(三) 污泥的过硝化现象

正常条件下,处理含酚污水的活性污泥中,硝化菌是处于被抑制状态。参与硝化作用的是亚硝酸细菌(Nitrite bacteria)和硝酸细菌(Nitro-bacteria)。炼油废水中含有丰富的 NH_3 , 当进水 BOD 或酚含量很低,污泥浓度却较高,这时微生物 C/N 失调,碳素不足而 NH_3 过剩,水中溶解氧则往往很高,这就为硝化菌创造了一个适宜的环境,于是其代谢就旺盛起来,把水中的 NH_3 氧化为硝酸。水中硝酸含量达 5mg/l 便能抑制主导菌,称为污泥的过硝化。

过硝化的污泥,浓度并未明显减少,而指数一般都低于 50%。污泥变得密实而颗粒化,并呈粒状上翻。这时澄清液很清,水面有很多细碎泡沫,而粒状污泥似乎因水化作用

游离在澄清区的中上部,不能正常循环。这时污泥活性低,处理效果差。

因硝化菌是纯无机营养型,引进一些生活污水或投加苯酚,即可制止过硝化现象。

四、两 点 看 法

1. 为满足生物生化平衡的要求,应及时地、科学地改变操作条件,以稳定和提高污泥活性并保持较好的处理效果。另外在设计工艺构筑时,要充分考虑生物的特点,尽量保证进水浓度与流量均匀平稳,以避免污泥频繁出现反常现象,影响处理效果。

2. 运转使用中的污泥,经常受到冲击,营养也经常失调,这就无法满足(实际上也很难办到)一定生长期的微生物对环境所要求的条件。表曝池中的活性污泥在运转一段时间后,只有少数微生物处于对数生长期,而部分或大部分却成为静止期和衰亡期。如果仍按原设计条件运转,势必导致污泥活性越来越差,去除效率越来越低,因承受冲击的能力减弱,会频繁出现反常现象。因此对运转使用中的污泥,必须定期采取复壮措施,这就要求有复壮设备。若能做到这一点,就会提高生化处理效果,维持污泥高活性正常运转。

参 考 文 献

- [1] 洞沢勇,排水の生物学的处理,株式会社,技报堂,1976 年。
- [2] 辽宁省林业土壤研究所编译,环境污染与生物净化,科学出版社,1976 年。
- [3] 湖北省水生生物研究所第四研究室无脊椎动物区系组,废水生物处理微型动物图志,中国建筑工业出版社,1976 年。

《救 救 世 界》出 版

《世界自然保护大纲》的普及本《救救世界》中文版已由科学出版社出版。

《救救世界》从全球生物资源保护出发,重点介绍了土地、森林、物种和海洋生物资源破坏的严重情

况,提出了把保护和发展结合起来、以求得持续发展的基本战略,可供环保工作者、各级领导干部及专业人员阅读。

(张锡声 袁清林供稿)