

# ABR 处理农村生活污水填料选择的研究

高洪福<sup>1</sup>, 施春红<sup>1</sup>, 张国照<sup>2</sup>, 马方曙<sup>1</sup>, 周北海<sup>1</sup>

(1. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083; 2. 中节能水务发展有限公司, 北京 100082)

**摘 要:** 采用厌氧折流板反应器 (ABR) 处理农村生活污水, 并选择出适合农村生活污水处理的 ABR 填料。以立体弹性填料、纤维球填料和鲍尔环填料作为 ABR 填料, 以无填料 ABR 为对照实验装置, 考察了填料对 ABR 处理效果和生物相的影响, 并对各填料 ABR 工程造价进行了分析。研究表明: 装填立体弹性填料、纤维球填料和鲍尔环填料后, ABR 对 COD、SCOD 和 SS 的去除率均有一定程度的提高; 装填填料 ABR 中微生物种类和数量均多于无填料 ABR; 立体弹性填料的造价分别约为纤维球填料和鲍尔环填料的 1/8 和 1/15。因此, 立体弹性填料最适合作为 ABR 处理农村生活污水用填料, 装置稳定后, 出水 COD、SCOD 和 SS 的平均浓度分别为 87.42、49.61 和 13.20 mg/L, 平均去除率分别为 59.04 %、60.05 % 和 84.12 %。

**关键词:** 厌氧折流板反应器; 农村生活污水; 厌氧污水处理; 水处理填料

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)01-0086-05

## Study on selection of packing for treatment of rural domestic sewage by anaerobic baffled reactors (ABR)

GAO Hongfu<sup>1</sup>, SHI Chunhong<sup>1</sup>, ZHANG Guozhao<sup>2</sup>, MA Fangshu<sup>1</sup>, ZHOU Beihai<sup>1</sup>

(1. School of Civil and Environmental Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China; 2. CECEP Water Development Co., Ltd., Beijing 100082, China)

**Abstract:** The paper used anaerobic baffled reactors (ABRs) to treat rural domestic sewage, and chose the suitable packing. Flexible three-dimensional packing, the pall ring packing and fiber ball packing was chosen as ABR packing, and used an ABR without packing as a contrastive reactor, and investigated influence of packing on the treatment and biofacies of ABR and, and also analyzed the construction cost of these ABRs. The results showed that after filling the flexible three-dimensional packing, pall ring packing and fiber ball packing, the removal rates of ABR to COD, SCOD and SS have certain increase. There were more microbial species and quantities in the three ABRs filled with packing than that without packing. The construction cost of the ABR filled with flexible three-dimensional packing is almost 1/8 of the ABR filled with pall ring packing, and 1/15 of the ABR filled with fiber ball packing. Therefore the flexible three-dimensional packing was the most suitable one to be added into ABR to treat rural domestic sewage. When the equipment is stable, the average concentrations of effluent COD, SCOD and SS are 87.42 mg/L, 49.61 mg/L and 13.20 mg/L respectively, and the average removal rates of COD, SCOD and SS are 59.04 %, 60.05 % and 84.12 % respectively.

**Key words:** anaerobic baffled reactor; rural domestic sewage; anaerobic sewage treatment; filler of water treatment

## 1 研究背景

农村生活污水主要为居民生活过程中粪便及其冲洗水、洗浴污水和厨房污水等, 还包括一些农村分散养殖过程中所产生的污水<sup>[1]</sup>。农村生活污水具有污染物浓度低、水质波动大、排放量变化幅度大等

特点<sup>[2]</sup>。若未经处理的农村生活污水直接排放, 将严重影响农村地区的生态环境, 并对农村地区的饮水安全造成威胁<sup>[3-5]</sup>。

厌氧折流板反应器 (ABR) 是 McCarty 和 Bachmann 等<sup>[6]</sup>于 20 世纪 80 年代初提出的由多隔室组成的高效新型厌氧反应器。ABR 的设计基于微生物

收稿日期: 2015-09-28; 修回日期: 2015-10-14

作者简介: 高洪福 (1991-), 男, 河北沧州人, 在读硕士研究生, 主要从事水体污染控制研究。

通讯作者: 施春红 (1968-), 女, 安徽铜陵人, 副教授, 主要从事水体污染控制研究。

物系统理论和复合流态的反应器系统理论,充分体现了分阶段多项厌氧工艺(SMPA)的新思想<sup>[7]</sup>。赵来利等<sup>[8]</sup>研究了常温(17~25℃)下 ABR 处理低浓度废水的运行效果,结果表明:进水 COD 浓度保持在 500 mg/L 左右,水力停留时间(HRT)为 12 h 和 8 h 时,COD 的去除率为 83 % 以上;杜接弟等<sup>[9]</sup>研究了 HRT 对 ABR 处理低浓度废水效果的影响,结果表明:进水 COD 维持在 500 mg/L 左右时,HRT 从 24 h 逐渐缩短到 5 h,ABR 保持了较高的有机物去除效果,运行稳定阶段的 COD 去除率多在 90% 以上;苏鸿洋<sup>[10]</sup>利用填料式 ABR 处理城市生活污水,结果表明:当进水的 COD 在 300 mg/L 左右,HRT 为 6 h 时,COD 去除率可保持在 70 % 以上,出水悬浮物(SS)浓度在 27~64 mg/L 之间。由此可见,ABR 对低浓度废水具有良好的处理效果,但目前利用 ABR 处理低浓度农村生活污水的报道较少。

本研究根据 ABR 结构简单、处理效果好、管理方便、运行费用低等优点<sup>[11]</sup>,将 ABR 用于农村生活污水的处理,以为国家重点关注的农村生活污水污染问题提供新思路<sup>[12-14]</sup>。在试验的基础上,探讨装填填料对 ABR 处理效果和生物相的影响,并对装填不同填料 ABR 的工程造价进行分析,以期 ABR 处理农村生活污水的应用与推广提供理论基础和科学依据。

2 材料与方法

2.1 试验装置

试验装置如图 1ABR 装置示意图所示,反应器由有机玻璃制成,长、宽、高分别为 300、165、350 mm,总容积为 17.33 L,有效容积(包括上向流室和下向流室容积)为 15.35 L。ABR 由竖直折流板分为 3 个隔室,每个隔室由上向流室和下向流室组成,两者的比例为 1:3。通往上向流室的折流板下端设置 30 mm 长、倒角为 45°的导流板。装置上部设置排气口,每个隔室底部设置排泥口。装置利用创锐 BT300K 型蠕动泵进行进水。

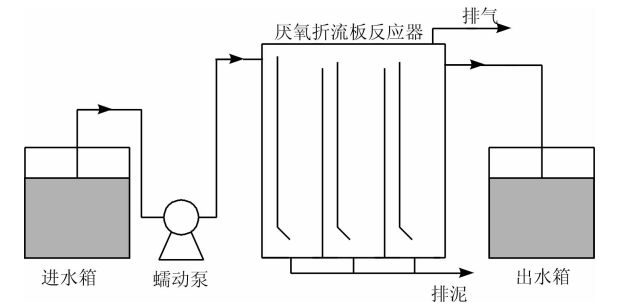


图 1 ABR 装置示意图

2.2 试验填料

试验所用填料为水处理工程中运用较广泛的立体弹性填料、鲍尔环填料和纤维球填料。填料的技术参数如“表 1 试验填料技术参数”所示。

| 表 1 试验填料技术参数 |           |                                             |           |           |
|--------------|-----------|---------------------------------------------|-----------|-----------|
| 种类           | 规格/<br>mm | 比表面积/<br>(m <sup>2</sup> ·m <sup>-3</sup> ) | 空隙率/<br>% | 干填料<br>因子 |
| 立体弹性填料       | φ120      | 400                                         | 98        | 424.99    |
| 鲍尔环填料        | φ16       | 194                                         | 91        | 256.59    |
| 纤维球填料        | φ35±3     | 3000                                        | 96        | 3390.84   |

2.3 试验用水

试验采用半配水的方式模拟农村生活污水。试验所用原污水为北京科技大学化粪池污水,通过添加定量的葡萄糖(C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>)来调节进水中有机物的含量。进水 COD 浓度波动范围为 181.55~369.29 mg/L,平均浓度为 218.81 mg/L;进水溶解性 COD(SCOD)浓度波动范围为 104.13~291.87 mg/L,平均浓度为 169.37 mg/L;进水悬浮物(SS)浓度波动范围为 36.00~130.00 mg/L,平均浓度为 75.60 mg/L。

2.4 接种污泥

接种污泥取自北京高碑店污水处理厂活性污泥池厌氧段末端,混合液悬浮固体(MLSS)浓度为 3 590 mg/L,混合液挥发性悬浮固体(MLVSS)浓度为 2 764 mg/L。ABR 内共接种混合均匀的泥水混合液 15 L。

2.5 试验方法

试验设置 4 套尺寸、结构相同的 ABR。分别为无填料 ABR(1<sup>#</sup>)、装填立体弹性填料 ABR(2<sup>#</sup>)、装填鲍尔环填料 ABR(3<sup>#</sup>)、装填纤维球填料 ABR(4<sup>#</sup>)。填料装填采用工程应用中的填充方法,即立体弹性填料按 100 % 的比例填装、鲍尔环填料按 70% 的比例填装、纤维球填料按 100 % 的比例填装(此时装填密度为 80 kg/m<sup>3</sup>)。为省去实际运用中泵提所产生的运行成本,拟将 ABR 直接与农村庭院排水口或化粪池相连,故试验装置采取间歇进水的运行方式,运行时段为每天的上午 7:00-9:00、中午 11:00-14:00、下午 17:00-22:00,每天运行 10 h。HRT 为 24 h,水力负荷为 0.31 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d)。ABR 运行过程中每 4 d 采 1 次水样,测定各装置进、出水 COD、SCOD 和 SS 等指标,COD 和 SCOD 采用快速消解分光光度法测定,SS 采用重量法测定。待装置稳定后,对 4 个 ABR 各隔室的生物相进行分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 COD 去除

ABR 对 COD 的去除主要通过 ABR 中厌氧微生物和兼性厌氧微生物的生物代谢作用以及对颗粒态 COD(XCOD)的截留作用进行。各 ABR 对 COD 的去除效果如图 2 所示。在运行初期,接种污泥中只有部分细菌能够适应 ABR 运行环境,COD 的去除率较低。随着运行时间的增加,菌种种群的数量和效能逐渐增大,4 个 ABR 对 COD 的去除效果逐渐增强,到第 61 d 各装置的出水 COD 浓度基本稳定,抗冲击能力明显增强。说明实现 ABR 处理农村生活污水出水 COD 的稳定需 61 d 左右,且填料对启动期时长的影响较小。装置的启动期较长,分析主要原因是装置进水水质波动较大,延长了装置的启动时间。

装置稳定后,1<sup>#</sup> ABR 出水 COD 平均浓度为 109.07 mg/L,去除率为 49.08 %;2<sup>#</sup> ABR 出水 COD 的平均浓度为 87.42 mg/L,去除率为 59.04 %;3<sup>#</sup> ABR 出水的平均浓度为 87.68 mg/L,去除率为 59.00 %;4<sup>#</sup> ABR 出水的平均浓度为 79.23 mg/L,去除率为 63.17 %。2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup> ABR 较 1<sup>#</sup> ABR 去除率分

别提高9.96 %、9.92 % 和 14.09 % ,差异极显著( $\alpha = 0.01$ ),说明装填填料有利于增强 ABR 对 COD 的去除效果。在运行过程中发现 1<sup>#</sup> ABR 的污泥床高度仅占水深的一半左右,污泥床上部用于泥水分离的沉淀区域占据了大量空间,2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup> ABR 污泥床高度较高,说明装填填料提高了 ABR 的泥水分离效率,增加了有效泥量;此外,微生物在填料上挂膜,增加了污水与微生物的接触面积。装填填料的 3 个装置对 COD 的去除率由大到小排序为 4<sup>#</sup> > 2<sup>#</sup> > 3<sup>#</sup>,分析主要是受填料比表面积和填装方式的影响。由表 1 可知,立体弹性填料、鲍尔环填料、纤维球填料的比表面积分别为 400、194、3 000 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>,对应的工程填装比例分别为 100%、70% 和 100%,结合装置的有效体积可知 2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup> 和 4<sup>#</sup> ABR 中填料的表面积分别为 6.14、2.98 和 46.04 m<sup>2</sup>,表面积的提高,有利于增加微生物的挂膜面积。但与表面积之间的差别相比,去除率之间差别较小,差异不显著( $\alpha = 0.05$ )。分析主要原因是农村生活污水的 COD 浓度较低,能够供养的厌氧和兼性厌氧微生物数量有限,并不能实现对填料表面积的完全利用;此外,立体弹性填料和鲍尔环填料的立体空间大,附着于填料上老化的生物膜容易脱落至反应器底部,有利于去除效果的提高。

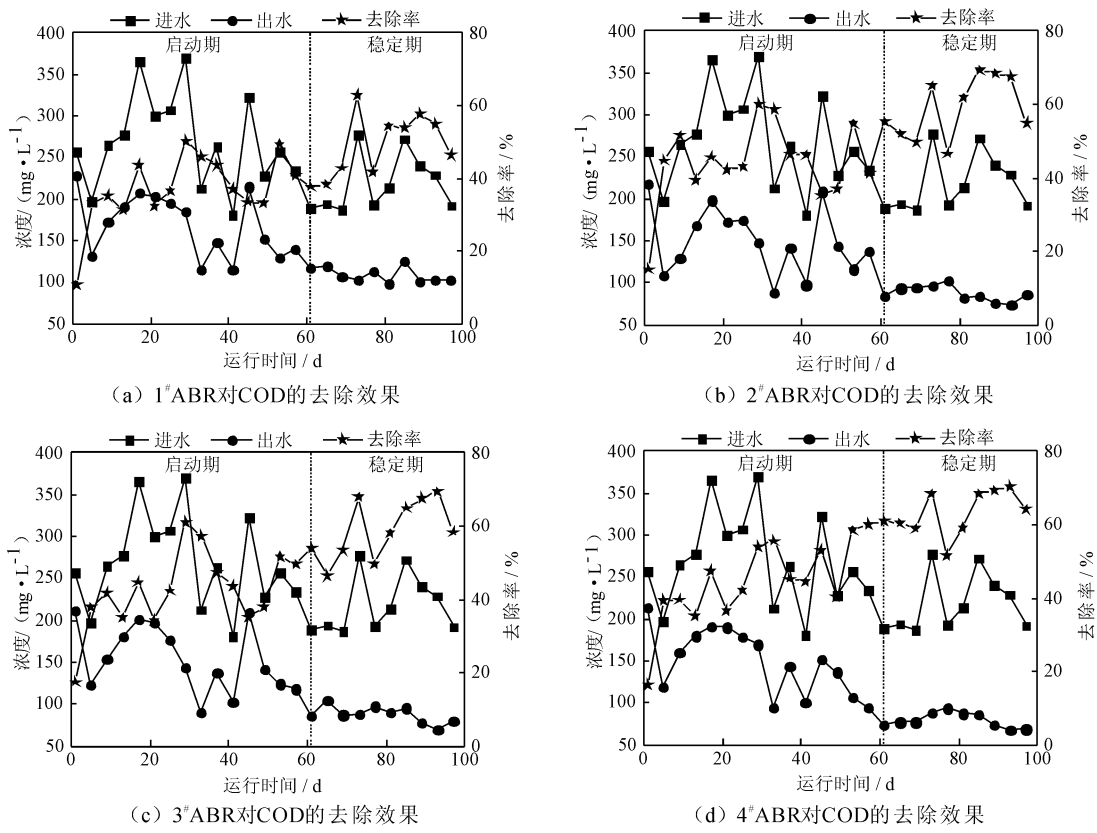


图2 不同 ABR 对 COD 的去除效果

3.2 SCOD 去除

各 ABR 对 SCOD 的去除效果如图 3 不同 ABR 对 SCOD 的去除效果所示。ABR 对 SCOD 去除情况与 COD 类似:装置运行 61 d 后基本实现稳定,且各装置启动期差别较小。装置稳定后,1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>和 4<sup>#</sup>去除率为 49.90%、60.05 %、60.01 % 和 63.26 %。2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>和 4<sup>#</sup>ABR 较 1<sup>#</sup>ABR 去除率分别提高10.15 %、10.11 % 和 13.36 % ,差异极显著(  $\alpha =0.01$ )。装填填料的 3 个装置对 SCOD 的去除率由大到小排序为 4<sup>#</sup> > 2<sup>#</sup> > 3<sup>#</sup>,差异不显著(  $\alpha =0.05$ )。

在稳定期,装置进水、1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>和 4<sup>#</sup>出水 SCOD 平均浓度分别为 126.91、62.61、49.61、50.03 和 45.84 mg/L,则相应的 XCOD 浓度分别为 114.68、55.97、42.71、45.22 和 39.37 mg/L,各装置对 XCOD 去除率分别为 51.20 %、62.75 %、60.56 %、65.68 %。由此可知,ABR 对 SCOD 和 XCOD 均具有较好的处理效果,且对 XCOD 的去除率高于 SCOD。分析主要原因是,除可通过厌氧微生物和兼性厌氧微生物的生物代谢作用外,ABR 对 XCOD 的去除还可通过 ABR 的截留作用。

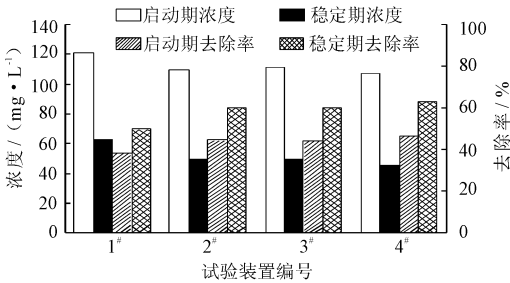


图 3 不同 ABR 对 SCOD 的去除效果

3.3 SS 去除

ABR 对 SS 的去除主要通过填料和挡板的截留作用进行。1<sup>#</sup>ABR 出水 SS 浓度在启动期(61 d)受进水浓度波动影响明显,2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>和 4<sup>#</sup>ABR 出水 SS 浓度在运行 16 d 后波动就明显降低,4 个装置在运行 61 d 后出水 SS 浓度波动最小,去除率达到最大。说明:装填填料能够增强 ABR 在启动期的抗冲击能力;实现 ABR 处理农村生活污水出水 SS 的稳定需 61 d 左右,此时 ABR 内颗粒污泥的量基本稳定,颗粒污泥的存在有利于填料和挡板对 SS 的截留。各 ABR 对 SCOD 的去除效果如“图 4 不同 ABR 对 SS 的去除效果”所示。

装置稳定后,1<sup>#</sup>ABR 出水 SS 平均浓度为 30.80 mg/L,去除率为 61.11% ;2<sup>#</sup>ABR 出水 SS 的平均浓度为 13.20 mg/L,去除率为 84.12% ;3<sup>#</sup>ABR 出水的

平均浓度为 11.70 mg/L,去除率为 85.20% ;4<sup>#</sup>ABR 出水的平均浓度为 7.90 mg/L,去除率为 89.95%。2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>ABR 较 1<sup>#</sup>ABR 去除率分别提高23.01%、24.09% 和 28.84% ,差异极显著(  $\alpha =0.01$ ) ,说明装填填料对增强 ABR 的 SS 去除效果作用明显,分析主要原因是装填填料增加了 ABR 对 SS 的截留面积,此外 ABR 内增设填料的构造,有助于提高泥水分离效率,避免污泥被水流冲出。4<sup>#</sup>ABR 对 SS 的去除率高于 2<sup>#</sup>和 3<sup>#</sup>,与 2<sup>#</sup>和 3<sup>#</sup>差异极显著(  $\alpha =0.01$ ) ,主要原因是纤维球填料填装的表面积较大,因而截留面积较大;3<sup>#</sup>ABR 对 SS 的去除率略高于 2<sup>#</sup>,但二者之间差异不显著(  $\alpha =0.05$ ) ,分析其主要原因是相比于立体弹性填料,鲍尔环填料的结构更有利于 ABR 对 SS 的去除。

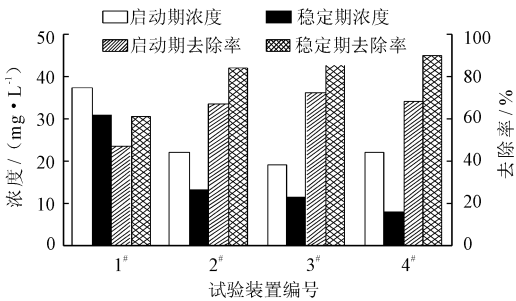


图 4 不同 ABR 对 SS 的去除效果

3.4 生物相分析

ABR 运行稳定后,取各装置各个隔室的活性污泥进行生物相分析。ABR 中主要有丝状菌、表壳虫、匍壳虫、朽毛虫、线虫等微生物。ABR 中主要微生物如图 5ABR 中主要微生物所示。

装置稳定后丝状菌和菌胶团呈现良好的共生关系,有利于形成良好的污泥网,装置中未发生丝状菌污泥膨胀。通过生物相观察可知:2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>和 4<sup>#</sup>ABR 中微生物的种类和数量多于 1<sup>#</sup>ABR,说明装填填料有利于 ABR 内微生物的截留与生长;2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>和 4<sup>#</sup>ABR 中微生物浓度呈现与 3 个装置对 COD、SCOD 和 SS 去除相似的规律,即:4<sup>#</sup>ABR 微生物浓度略大于 2<sup>#</sup>和 3<sup>#</sup>,2<sup>#</sup>和 3<sup>#</sup>ABR 中微生物浓度差别较小。

4 工程造价分析

ABR 工程所需直接费主要为人工费、材料及设备费、施工机具使用费。受农村生活污水水量少特点的影响,4 种 ABR 造价差别主要体现在填料价格和安装填料所需配套设施费两个方面。立体弹性填料安装形式主要为正方形安装,其安装需制造钢结构框架,因此装填立体弹性填料会产生一定的配套

设施费。鲍尔环填料和纤维球填料直接加入到装置中即可,不产生额外的配套设施费。各 ABR 每立方米所需填料价格和配套设施费如表 2 填料价格和配套设施费所示。

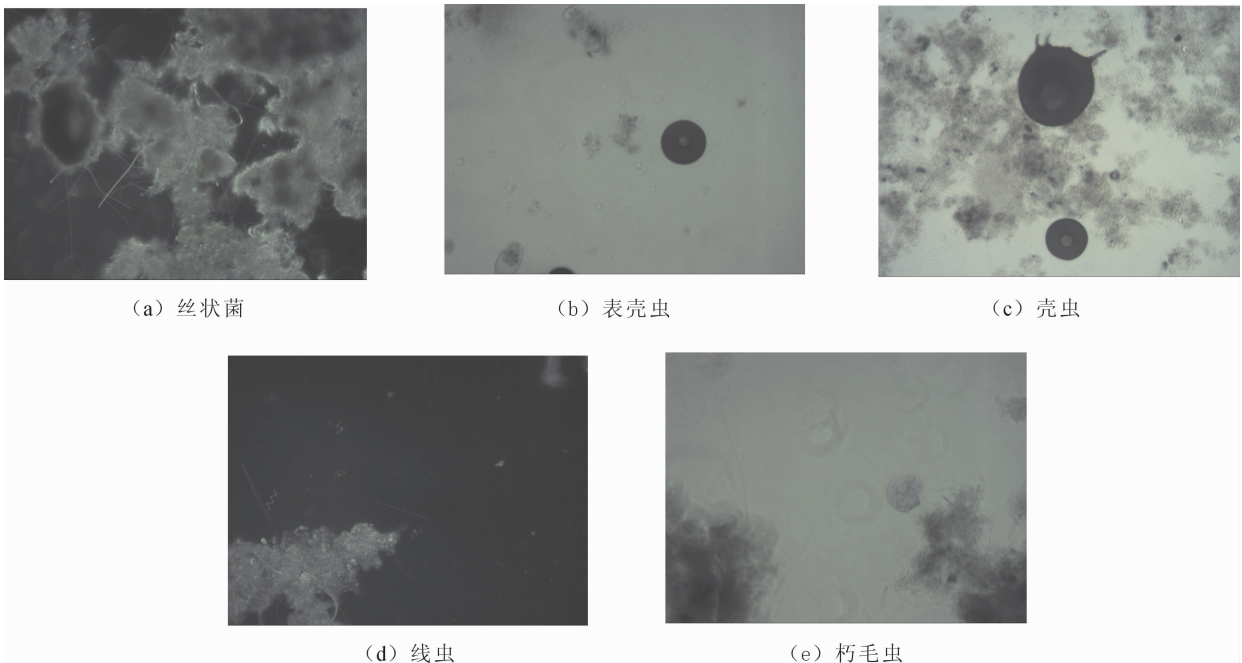


图5 ABR 中主要微生物

| 表 2 填料价格和配套设施费 |                             |           |          |
|----------------|-----------------------------|-----------|----------|
| 种类             | 价格/<br>(元·m <sup>-3</sup> ) | 设施费/<br>元 | 合计/<br>元 |
| 无填料            | 0                           | 0         | 0        |
| 立体弹性填料         | 33                          | 45        | 78       |
| 鲍尔环填料          | 600                         | 0         | 600      |
| 纤维球填料          | 1200                        | 0         | 1200     |

由表 2 可知,各 ABR 工程造价由大到小为纤维球填料 ABR > 鲍尔环填料 ABR > 立体弹性填料 ABR > 无填料 ABR,立体弹性填料的造价分别约为纤维球填料和鲍尔环填料的 1/8 和 1/15。

5 结 论

(1)各 ABR 对农村生活污水的处理效果良好,ABR 中形成良好的污泥网,加之 ABR 结构简单、管理方便等优点,说明 ABR 适于处理农村生活污水。ABR 处理农村生活污水的启动期为 61 d。

(2)装填填料有利于提高 ABR 对农村生活污水的处理效果。ABR 装填立体弹性填料、鲍尔环填料和纤维球填料后 COD 去除率分别提高 9.96 %、9.92 % 和 14.09 %, SCOD 去除率分别提高 10.15 %、10.11 % 和 13.36 %,SS 去除率分别提高 23.01 %、24.09 % 和 28.84 %,装置中微生物的种

类和数量均有增加。  
(3)立体弹性填料最适合作为 ABR 处理农村生活污水用填料。主要由于在 3 种填料处理效果差别较小的前提下,立体弹性填料 ABR 的工程造价最低,更适于在农村的推广与应用。装填该填料 ABR 稳定后出水 COD、SCOD 和 SS 的平均浓度分别为 87.42、49.61、13.20 mg/L,平均去除率为 59.04 %、60.05 % 和 84.12 %。

参考文献:

[1] 何安吉,黄 勇. 农村生活污水处理技术研究进展及改进设想[J]. 环境科技,2010,23(3):68-71+75.  
[2] 薛 媛,武福平,李开明,等. 农村生活污水处理技术应用现状[J]. 现代化农业,2011(4):41-44.  
[3] Ye Fenxia, Li Ying. Enhancement of nitrogen removal in towery hybrid constructed wetland to treat domestic wastewater for small rural communities[J]. EcologicalEngineering,2009,35(7):1043-1050.  
[4] Li Song, Li Hua, Liang Xingqiang, et al. Rural wastewater irrigation and nitrogen removal by the paddy wetland system in the Tai Lake Region of China[J]. Journal of Soils and Sediments Protection Risk Assessment & Rem, 2009, 9(5):433-442.