

文章编号 1000-2278 (2013) 03-0381-06

悬浮生物载体在水污染控制中的研究进展

廖润华 洪燕 李月明 王竹梅 沈宗洋

(景德镇陶瓷学院材料科学与工程学院,江西 景德镇 333403)

摘要

总结了关于悬浮生物载体在脱氮、去除有机物等方面的主要研究与应用进展,并展望了其在水污染治理的应用前景。

关键词 悬浮生物载体 脱氮 降解有机物

中图分类号:TQ174.75 文献标识码:A

0 引言

生物载体应用于污水处理的研究始于上世纪60年代,而悬浮生物载体是随着悬浮生物载体流化床的研制,上世纪80年代开始相应的研究。载体生长满了微生物以后,比重略重于水,通过曝气搅动,呈现流化状态,这是悬浮生物载体的雏形。这类载体无需固定支架,在池中可随曝气搅拌悬浮于水中并全池均匀流化,能耗较低,是一种很有发展前途的载体,能有效提高池中生物浓度,达到去除含氮有机物、硝化、反硝化及有机物的目的,大大改进了生物膜污水处理效果以及减少了能源消耗,所以悬浮生物载体将在应用于废水处理方面具有广阔的应用前景;在此对其在脱氮、去除有机物、微生物特性研究及其实际工程应用进展方面进行综述。

1 研究进展

1.1 悬浮生物载体的微生物特性研究

夏四清等^[1]通过测定变性凝胶(DGGE)技术的16S rDNA V3区概况和amoA基因扩增梯度电泳来决定不同的碳氮比(C/N)对微生物群落结构的响应。同时通过具有16S rDNA-靶子寡核苷酸探针原位杂

交(FISH)荧光来评价氨氧化细菌(AOB)和亚硝酸盐氧化细菌(NO_B)的种群动态。实验结果表明,小型悬浮载体生物膜反应器(SCBR)具有很好的脱氮除磷效果,其中COD_{Cr}的去除率超过90%,同时硝化反硝化率约为83.3%。微生物群落结构的多样性与C/N比呈正相关,而amoA基因的三个社区相对均匀,硝化细菌的数量以C/N的比与逆AOB和NO_B平均分数对所有细菌的比例为5.4,4.8,3.1%和4.6,3.5,2.7%,分别对应C/N比值从3:1,5:1至10:1变化。王荣昌等^[2-4]研究了在悬浮载体生物膜反应器(SCBR)中COD_{Cr}/NH₄⁺-N比的变化对生物膜中微生物种群结构影响,当COD_{Cr}/NH₄⁺-N比为10,最高COD_{Cr}去除率达到约73.8%,而当COD_{Cr}/NH₄⁺-N比为5时,有最高的氨氮去除率为55.9%。通过原位杂交(FISH)荧光法和共聚焦激光扫描显微镜(CLSM)观察,发现在载体上形成的生物膜厚度约80mm至120mm,氨氧化细菌(AOB)和硝化细菌主要存在膜的上层中的20至30毫米中。醌类图谱分析的结果表明,微生物多样性随着COD_{Cr}/NH₄⁺-N比增加而增加,而在生物膜群落中的氨氧化细菌(AOB)和硝化细菌的比例下降。黄爱群等^[5]采用16S rDNA序列基的技术分析了在厌氧颗粒污泥悬浮载体生物膜反应器中古菌降解2,4-二氯苯酚的群落结构。总DNA分别从ASBR反应器中的污泥的顶部、中部与底部直接提取,然后采用古细菌特异性引物ARC21F/ARC958R进行聚合酶链反

收稿日期 2013-03-12

基金项目 江西省科技厅重点支撑计划项目资助(编号:2009AE00800),江西省青年自然科学基金资助项目(编号:2010GQC0106)

通讯联系人 廖润华, E-mail: maxlnh@126.com

应(PCR)扩增。阳性PCR产物进行克隆和测序,序列分析表明,在ASBR反应器与接种污泥中的每层都存在类似的古菌,包括*Methanothrix soehngenii*和未培养的古菌。丰富的*M.soehngenii*古菌、未培养的TA05和TA04古菌在ASBR反应器污泥中分布情况如下 接种污泥<顶部<中部<底部。然而,大量的未培养的44A-1、39-2、46-1和69-1古菌在ASBR污泥中呈下降趋势 接种污泥>顶部>中部>底部,同时发现一些特殊的古细菌,如在ASBR的顶层淤泥未确定的crenarchaeote古菌与在其底层淤泥未培养的ZAR106古菌。在2,4-二氯酚驯化后,在接种污泥中原有的6种古菌消失了,以及在ASBR的污泥古菌多样性也下降了。在ASBR的底层淤泥中古菌的数量发生显著变化。

1.2 在脱氮性能方面的研究进展

陈胜等^[6]在悬浮载体床生物膜反应器中采用二次沉淀池中的污泥为培养液来培养厌氧氨氧化细菌,在低负荷氮的条件下通过90天运行其氨与亚硝酸盐的去除率达到100%左右,总氮去除率超75%,该悬浮载体填充床反应器厌氧氨氧化表明其对高氮、高负荷的具有很好的去除效果,当进水氨氮和亚硝酸盐浓度低于800毫克/升时,其对应去除率可达100%。王文斌等^[7]为了提高氨氮的生物降解率,开发一种悬浮载体并在序批式反应器(SBR)中三个不同阶段进行生物膜培养,在悬浮载体柱着间形成一种薄的蜂巢形生物膜。该生物反应器在温度为24~29℃,pH值为7.8~8.2运行,当进水浓度 COD_{Cr} 为140~300mg/L, NH_4^+-N 为40~78mg/L,曝气90min后,出水 COD_{Cr} 与氨氮的浓度分别为<40mg/L、2mg/L。而当进水浓度 COD_{Cr} 为150~350mg/L, NH_4^+-N 为80~130mg/L,曝气180min后出水 COD_{Cr} 与氨氮的浓度分别为低于45mg/L和3.5mg/L,其氨氮生物降解率远远大于常规活性污泥法。U Welandar等^[8]采用悬浮载体生物膜法研究了低温(3~20℃)条件下反硝化工艺,该反应器中填充50%Kaldnes K1的载体。反硝化速率显示其对温度的依赖性相当弱,在3℃时的反硝化率约为15℃时的55%,在15℃时可获得最大反硝化率为 $2.7gNO_x^- \cdot Nm^{-2} \cdot carrier \cdot d^{-1}$ 。在3℃时最大反硝化率在8天时间被认为是常数,在这8天时间内,水力停留时间约为1.5h,进口 $NO_3^- \cdot N$ 的浓度为 $30mg \cdot l^{-1}$ Munch

E V等^[9]采用悬浮载体技术应用于升级高活性污泥强化处理脱氮,通过澳大利亚布里斯班奥克斯利河污水处理厂中试试验运行7个月,该中试试验条件是:混合液悬浮固体浓度为1220mg/L,总的水力停留时间5.4小时,处理厂的平均出水总无机氮浓度(氨氮加亚硝酸盐-N)的小于12mg/L是可能的,该奥克斯利河污水处理厂可以采用悬浮载体技术进行升级,无需额外的储罐脱氮。U Welandar等^[10,11]采用中试悬浮载体生物膜反应器去除来自家庭与工业废物的垃圾填埋场的渗滤液中的氮和有机物。在两个平行好氧反应器中分别填充60%(体积比)的两种不同形式和比表面积的悬浮载体,其比表面积分别为210和390 m^2/m^3 ,并研究其硝化反应;在填充了40%的比表面积为210 m^2/m^3 载体的缺氧反应器中进行机械搅拌研究其反硝化反应,将好氧反应器的出来硝化渗滤液输送到缺氧反应器中,同时补充外加碳源,开始加醋酸和后来加甲醇,以促进反硝化作用,在此过程中渗滤液温度变化范围为10~26℃,在此温度范围内硝化反应顺利进行。最大比表面的介质可获得最高硝化容积率为 $24g \cdot N/m^3 \cdot h$ (16℃),以甲醇为碳源反硝化速率最高约为 $55gN/m^3 \cdot h$,由于工艺已经达到优化运行,无机氮几乎完全消除,总氮的去除率约为90%,在研究过程中化学需氧量(COD_C)去除率约为20%。同时还通过三种不同类型的载体介质分别在三个反应器中研究用悬浮载体生物膜工艺处理城市垃圾填埋场的渗滤液硝化反应的可行性。探讨了温度、水力停留时间对硝化容积率(HRT)的影响,在运行大约1个月后获得稳态硝化速率,硝化率对温度的依赖性比较薄弱,在5℃时其值大约是20℃时硝化速率的77%。水力停留时间(HRT)对硝化速率有较明显的影响,随着水力停留时间降低则硝化率大幅度增加。采用大孔纤维素组成的小立方载体介质取得最高的效率。采用该种载体在20℃,水力停留时间(HRT)为14h,载体填充率为10%条件下,获得最大的硝化率为 $40g(NH_4^+-N)/(m^3 \cdot h)$ 。高艳玲^[12]研究了悬浮载体生物流化床反应器的脱氮效能。悬浮载体生物流化床反应器是一种有效的城市污水处理工艺,并对水质的变化有一定的抗冲击能力。该工艺对有机物和氨氮均有较高的去除率,对总氮也有明显的去除效果。当容积负荷小于 $15kg \cdot COD_{Cr}/m^3 \cdot d$ 时, COD_{Cr} 平均出水浓度为23.59mg/L,

平均去除率为 89.52%, 最高可达 98.38%; 氨氮平均出水浓度为 691mg/L, 平均去除率为 83.66%, 最高可达 96.38%; 总氮平均去除率为 52.49%, 最高可 69.71%。

1.3 在降解有机物方面的研究进展

N Perron 等^[13]采用二阶好氧组成的悬浮载体生物膜工艺研究其对浓度分别为 150 mg·L⁻¹ 的苯酚、邻甲酚、间甲酚和对甲酚的降解情况。该工艺在温度分别为 4、7、11 和 15℃进行了研究, 从实验结果表明这一工艺即使在 4℃时也是相对有效, 在 15℃时对邻甲酚的降解率约为 33%。苯酚和甲酚在第一个反应器中都被降解并且在高效液相色谱图谱中出现一个新的高峰, 说明在第一阶段有形成一个或多个中间化合物, 然而, 这些化合物在第二个反应器中被降解为低于检测限值, 在第二个反应器最大负荷率出口处的色谱图中出现小的、新的色谱峰。Kristina Hakansson 等^[14]使用悬浮载体生物膜法生物降解乙腈, 利用在搅拌反应器中连续添加 40~150mmol/L 乙腈为介质出口, 根据有机负荷观察转换过程中的效率为 53~100%, 为了提高该工艺的处理能力和可靠性, 开发了一个具有两个搅拌池藕合的两步工艺, 当在第一个反应器有机负荷为 2g 乙腈/L/D 时, 转换效率达到 92~100%。Welander U 等^[15]利用一个好氧(硝化)和一个缺氧(反硝化)组成的悬浮载体生物膜工艺降解城市垃圾填埋场渗滤液中的有机化合物, 在好氧阶段化学需氧量的还原率为 15~30%。超滤和凝胶过滤色谱研究表明, 在处理过程主要是含低分子量的有机化合物被降解, 然而, 在处理仍留有部分该类低分子量化合物。此外, 反相色谱分析表明有机化合物中大部分亲水组分没有被降解(即处理对其不影响)。气质联用谱分析表明渗滤液中含有低浓度的增塑剂和多环芳香碳氢化合物。Tekere M 等^[16]探讨运用填充床与悬浮载体生物反应器系统并采用亚热带白腐真菌菌株 DSPM95 来降解综合污染介质中的多环芳烃, 当在饲料中多环芳烃的浓度为 1mg/L 时, 在反应器运行 31 天以上, 白腐真菌菌株 DSPM95 能够还原选定的多环芳烃混合物即芴, 菲, 蒽, 芘和苯并(a)蒽由 50 至 96%。

2 应用进展

2.1 在城市污水方面的应用进展

高艳玲等^[17]采用悬浮载体生物流化床工艺处理城市生活污水, 考察了进水 pH 对其处理效果的影响。结果表明, 进水 pH 变化不影响有机物去除效果; 氨氮(NH₃-N)去除率随 pH 上升而上升, 最佳 pH 为 7.5; 当 pH 在 6.5~8.0 之间变化时, 总氮(TN)去除率基本保持在 50%以上, 但当 pH 值 >8.2 和 <6.1 时, TN 去除效率有着下降的趋势。因此在指定试验条件下, pH 变化不影响有机物的去除, pH 为中性或偏碱性的环境下, 反应器对 NH₃-N 及 TN 有很好的去除效果。Christensson M 等^[18]采用大比表面的新型悬浮载体混合工艺处理城市污水中试厂试验, 实验废水温度为 11~20℃, 溶解氧(DO)为 5~6mg/L, 在混合期间新型填料上获得的硝化率为 0.9~1.2g NH₄⁺-N/m²/d 对应的容积率 19~23g NH₄-N/m³/h (总硝化包括悬浮载体内硝化作用), 超过 80%的总硝化作用发生在载体上(以及余下发生在悬浮固体内), 硝化率与溶解氧存在相关性, 当溶解氧降低, 对应硝化率也降低。研究结果支持了新型载体可作为一种升级与提标处理的工具的思路, 即升级今天没有硝化能力的处理厂为达到脱氮要求或提高改善没有达到必要的排放水平活性污泥硝化能力以达到排放要求的思路。大表面载体有利于硝化反应, 并使有限的体积内有可能获得高硝化速率, 以保持总悬浮固体含量低(<3g/L)的可能性与避免微生物产生的问题是这种混合反应器的另一大优势。霍保全等^[19]考察了悬浮载体流化床对生活污水的处理效果。结果表明, 该工艺对生活污水中的 COD_{Cr} 和氨氮有较好的去除效果, 当进水 COD_{Cr} 和氨氮分别为 (112~356)、(22.95~43.60) mg/L 时, 出水 COD_{Cr} 和氨氮分别为 9~26mg/L (平均为 17.6 mg/L) 和 1.52~7.18mg/L (平均为 3.54mg/L); 对总氮的去除效果不太理想, 当进水总氮浓度为 27.80~52.10mg/L 时, 出水总氮浓度为 9.87~28.44mg/L, 去除率仅为 45.41%~64.50%。

2.2 在工业废水方面的应用进展

2.2.1 在纸浆废水的应用进展

Suvilampi J E 等^[20]采用两个比较中试试验即悬浮载体生物膜法(SCBP)和活性污泥法(ASP), 以投入运行的嗜温的活性污泥法工艺作为参考, 研究高温好氧处理沉降纸浆和造纸废水; 通过 SCBP 和 ASP 工艺运行 61 天, 水力停留时间(HRT)分别保持 13

$\pm 5\text{h}$ 和 $16 \pm 6\text{h}$, 相应的容积负荷器 (VLR) 分别为 2.7 ± 0.9 和 $2.2 \pm 1.0\text{kg COD}_{\text{Cr}}/\text{m}^3 \text{D}$ 。温度保持在 46 至 60°C 之间。两种工艺 SCBP 和 ASP 实现 COD_{Cr} 去除率高达 85% , 而中温 ASP 工艺的去除率达到 $89 \pm 2\%$ 。高温废水的浊度值 ($100 \sim 300$) 明显高于中温出水 (浊度值 30), 出水浊度是高度依赖于温度, 在批次实验中温污水样品在 35°C 和 55°C 分别对应浊度值为 30 和 60 ; 可以得出结论: 两种高温工艺对 COD_{Cr} 去除率也高, 接近中温处理工艺对 COD_{Cr} 的去除率, 而水力停留时间不到后者的一半。Welander T 等^[21]通过瑞典纸浆和造纸工业对两个全投入运行的悬浮载体生物膜工艺性能进行评价, 来自 Backhammar 未漂白的牛皮纸工厂的出水经过化学沉淀和澄清后进入两阶生物膜工艺, 生物膜反应器在没有对初级沉淀池与初级污泥预处理情况下进行运行同时生物污泥和化学污泥在同一个澄清池被分离, 总处理时间为 1.5 小时生物膜工艺去除可溶性化学需氧量 (COD_{C}) 高达 70% , 偶尔纤维和造纸黑液的泄漏已证明该工艺能够承载非常高的纤维浓度 ($>30\text{g/l}$), 而且当高 pH 值 (>12) 引起的严重干扰几天之内就能够恢复, 来自 Metsa Tissue Nyboholm 生产再生纸工厂中的污水经过、生物处理、二次澄清澄清进行处理, 两次澄清过程都是通过化学分离法运行的。生物膜反应器在 3 小时内可将溶解性 COD_{Cr} 去除 $70 \sim 80\%$, 经过一年的运行发现这种工艺在操作温度变化很的情况下也不会受到很的影响, 几乎不受影响。Hunter R^[22]采用悬浮载体生物膜工艺预处理热机械纸浆出水降低曝气稳定系统的负荷, 该工艺由填充了 40% 的悬浮载体组成的 1500m^3 装置, 将原热机械纸浆废水不经过初级澄清直接加入该装置中, 因此使得反应器中的悬浮固体负荷可达为 2000mg/L 和 BOD_5 负荷约为 1500mg/L 。反应器初期启动是非常快, 经过 3 天的运行对 BOD 的去除率达到 50% 随着工艺的效率不断提高对生化需氧量 (BOD_5 与化学需氧量 (COD_{C}) 的去除率分别稳定在 90% 和 80% 。该工艺无故障的连续运行已经证明其对新进废水、关闭和其他过程引起的负荷变化具有很好的适应性。

2.2.2 在其它工业废水的应用进展

Wessman F G 等^[23]在新加坡的某个污水处理厂通过用 Kaldnes 移动床 (TM) 的介质取代现有的悬浮

载体介质来增加化工厂废水的处理能力, 当体积有机负荷为 $7.1\text{kg COD}_{\text{Cr}}/\text{m}^3/\text{d}$ 时, Kaldnes 移动床 (TM) 工艺比采用其他载体的粗过滤器获得高得多的去除率与低得多的出水浓度。在试验给定的有机负荷条件下, 即相当于一个具体生物膜表面积负荷为 $24\text{g COD}_{\text{Cr}}/\text{m}^2/\text{d}$, 该 Kaldnes 粗加工阶段取得超过 85% 有机碳去除率和超过 90% 的生化需氧量 (BOD) 去除率。即使联合粗加工过滤活性污泥法, Kaldnes 载体也优于其他载体, 对有机碳去除率和 BOD_5 去除率分别达到 98% 和 99.6% 。经 Kaldnes 运行的最后出水浓度分别为 22mg FOC/L 和 $7\text{mg BOD}_5/\text{L}$ 。基于成功的中试试验, 实际运行污水厂采用 Kaldnes 移动床 (TM) 的粗过滤器进行了升级, 在正常运行的污水厂升级很容易的达到了排放标准即 $100\text{mg COD}_{\text{Cr}}/\text{L}$ 和 50mg SS/L , 对 2002 年 9 月份的有机负荷为该月下旬的设计荷载的 100 至 115% 之间, 平均出水浓度分别低于 9mg FOC/L 、 $51\text{mg COD}_{\text{Cr}}/\text{L}$ 和 12mg SS/L 。Eva Dalenroth 等^[24]通过一个中试试验和两个实际工程试验研究, 探讨使用 Kaldnes 悬浮载体处理森林工业废水的最优工艺。在以上三种情况下使用的废水来自二次纤维厂, 研究表明, 与活性污泥相联的高负荷阶段 (典型为 $15 \sim 25\text{kg COD}_{\text{Cr}}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$) 的 Kaldnes 工艺形成一个高效、稳定、在投资和运营成本方面都具有竞争力的组合工艺, 这尤其处理一些含有不适合活性污泥法处理的化学组分的废水。这种灵活、小型的 Kaldnes 悬浮载体工艺也是现有污水处理厂升级的理想选择。Gunnarsson L 等^[25]通过实验已证明悬浮载体生物膜法 (SCBP) 可以降解低、中、高 ($40\text{kg}/\text{m}^3$) 浓度的纸浆和造纸废水中的可溶性 COD_{Cr} 达到 90% , 悬浮载体生物膜法 (SCBP) 可以采用多阶工艺处理制药工业废水, 该工艺中产生的真菌、细菌和微型动物对废水中的有毒物质和 COD_{Cr} 的去除率超过 90% 。

2.2.3 其他方面应用进展

Zhang L G 等^[26]通过实验室小试与中试都证实了在传统生物反应器中投加悬浮载体对脱氮除磷具有强化作用可行性。经过纳米技术改性后的悬浮载体用于营口 / 污水处理厂中试运行了 210 天, 研究了 C/P 比、溶解氧除磷的影响及其反应机理。结果表明, 在预处理 30 天内其出水 TP 浓度范围内为 $0.80 \sim 0.94\text{mg/L}$, 平均总磷去除率为 83% 。而在随后的 180d 运行中,

总磷平均去除率为 82%, 这符合 GB/T18921-2002 排放要求。在实验中当硝态氮浓度降低到 0.20mg/L, 硝酸盐不再作为反硝化除磷菌 (DPB) 的电子受体。在该实验中, 最佳 C/P 比为 60, 由于添加了经纳米技术改性悬浮载体, 当好氧池中的溶解氧为 0.2mg/L 时, 出水 TP 浓度达到 0.3~0.35mg/L。D J Gapes 等^[27]在实验室采用悬浮载体硝化反应器研究了生物膜的内、外传质阻力, 表明在这些日益流行的反应器系统中生物膜的内、外传质阻力等因素非常重要。控制呼吸速率实验表明, 氧传质阻力规定的程序的性能高达 20 毫克每升的溶解氧浓度。外部施加重大传质控制的整个反应速度, 从而生物膜模型必须充分考虑到这一点阻力。虽然载体类型与其特性有一定的影响, 生物膜结构似乎主要区别于传质与硝化性能。在高负荷氨生长的异构生物膜比低负荷氨的凝胶体状的生物膜更大的比表面积。作为传质控制过程, 这些悬浮载体反应器系统的总反应速度可立即通过增加的高于正常操作水平浓度 (高达 20 毫克每升) 的溶解氧来提高。在较低的生物膜部分中长期缺氧状态不会对生物活性产生负面影响。

3 展 望

由于悬浮生物载体克服了固定式载体需要设置承载支架、安装不方便、更换载体困难、同时固定载体上生存挂膜、脱去老膜都比较困难等缺点, 而其只要倒入池中即可使用, 安装方便, 更换简单。悬浮生物载体可在池内浮游流动, 微生物附着表面增大, 水池内能维持很高的微生物浓度, 提高容积负荷, 装置面积小, 广泛适用于生活污水、石油化工、化工造纸、食品工业酿酒、制糖纺织、印染制革制药等工业废水的废水处理, 如悬浮柱状生物载体可在曝气池中自由浮动, 运行管理方便, 已在欧洲许多城市和工业污水处理工程中使用, 取得了很好的效果。悬浮生物载体是今后载体开发研究的趋向, 其应用研究将是推动我国污水处理技术进步和处理效果上台阶的有效途径。

参 考 文 献

1 XIA Siqing, LI Junying, WANG Rongchang. Nitrogen removal performance and microbial community structure dynamics

- response to carbon nitrogen ratio in a compact suspended carrier biofilm reactor. *Ecological Engineering*, 2008, 32(3): 256~262
- 2 WANG R C, WEN X H, QIAN Y. Microbial population structure changes in a suspended carrier biofilm reactor. *Water Science and Technology*, 2006, 54(6): 145~153
- 3 王荣昌, 文湘华, 钱 易. 悬浮载体生物膜内硝化细菌群落的空间分布. *环境科学*, 2006, 27(11): 2358~2362
- 4 WANG Rongchang, WEN Xianghua, QIAN Yi. Influence of carrier concentration on the performance and microbial characteristics of a suspended carrier biofilm reactor. *Process Biochemistry*, 2005, 40(9): 2992~3001
- 5 黄爱群, 陈 玲, 计军平等. 降解 2,4 - 二氯苯酚的厌氧颗粒污泥 - 悬浮载体生物膜反应器中古细菌的种群结构. *应用与环境生物学报*, 2008, 14(3): 422~426
- 6 陈 胜, 孙德智, 遇光禄. 填充床快速启动厌氧氨氧化反应器及其脱氮性能研究. *环境科学*, 2010, 31 (3) : 691~696
- 7 王文斌, 祁佩时. 悬浮生物膜载体强化氨氮降解研究. *环境科学*, 2006, 27(12): 2502~2506
- 8 WELANDER U, MATTIASSON B. Denitrification at low temperatures using a suspended carrier biofilm process. *Water Research*, 2003, 37(10): 2394~2398
- 9 MUNCH E V, BARR K, WATTS S, et al. Suspended carrier technology allows upgrading high-rate activated sludge plants for nitrogen removal via process intensification. *Water Science and Technology*, 2000, 41(4-5): 5~12
- 10 WELANDER U, HENRYSSON T, WELANDER T. Biological nitrogen removal from municipal landfill leachate in a pilot scale suspended carrier biofilm process. *Water Research*, 1998, 32(5): 1564~1570
- 11 WELANDER U, HENRYSSON T, WELANDER T. Nitrification of landfill leachate using suspended-carrier biofilm technology. *Water Research*, 1997, 31(9): 2351~2355
- 12 高艳玲. 悬浮载体生物流化床反应器脱氮试验研究. 哈尔滨工业大学博士学位论文, 2007
- 13 PERRON N, WELANDER U. Degradation of phenol and cresols at low temperatures using a suspended-carrier biofilm process. *Chemosphere*, 2004, 55(1): 45~50
- 14 HAKANSSON K, MATTIASSON B. Microbial degradation of acetonitrile using a suspended-carrier biofilm process. *Biotechnology Letters*, 2002, 24(4): 287~291
- 15 WELANDER U, HENRYSSON T. Degradation of organic compounds in a municipal landfill leachate treated in a suspended-carrier biofilm process. *Water Environment Research*, 1998, 70(7): 1236~1241

- 16 TEKERE M, READ J S, MATTIASSEN B. Polycyclic aromatic hydrocarbon biodegradation by a subtropical white rot fungus in packed bed and suspended carrier bioreactor systems. *Environmental Technology*, 2007, 28(6): 683~691
- 17 高艳玲,赵庆建,张旭红等.进水 pH 值对悬浮载体生物流化床处理效能影响的研究.《北京师范大学学报(自然科学版)》, 2009, 45(3):301~303
- 18 CHRISTENSSON M, WELANDER T. Treatment of municipal wastewater in a hybrid process using a new suspended carrier with large surface area. *Water Science and Technology*, 2004, 49(11-12): 207~214
- 19 霍保全,景长勇,刘旭东.悬浮载体流化床处理生活污水的研究.《中国给水排水》,2009,25(21):75~77
- 20 SUVILAMPI J E, RINTALA J A. Pilot-scale comparison of thermophilic aerobic suspended carrier biofilm process and activated sludge process in pulp and paper mill effluent treatment. *Water Science and Technology*, 2004, 50(3): 95~102
- 21 WELANDER T, MALMQVIST A, SVENSSON A, et al. Removal of COD from pulp and paper industry effluents using suspended carrier biofilm technology. *International Environmental Conference & Exhibit*, 1998, 1-3: 303~310
- 22 HUNTER R. Decreasing the load on an ASB system by pretreatment of TMP effluent in a suspended carrier biofilm process. *Tappi International Environmental Conference*, 1999, 1-3: 599~607
- 23 WESSMAN F G, YUEGEN E Y, ZHENG Q, et al. Increasing the capacity for treatment of chemical plant wastewater by replacing existing suspended carrier media with Kaldnes Moving Bed (TM) media at a plant in Singapore. *Water Science and Technology*, 2004, 49(11-12): 199~205
- 24 DALENTOF E, THULIN P. The use of the Kaldnes suspended carrier process in treatment of wastewaters from the forest industry. *Water Science and Technology*, 1997, 35(2-3): 123~130
- 25 GUNNARSSON L, HARVEY P, TERNSTROM A, et al. Experience of suspended carrier biofilm processes for industrial wastewater treatment. *Industrial Effluent Technology Meeting the Demands of the 21st Century*, 1998, 33: 71~80
- 26 ZHANG L G, YIN J, LIU L, et al. Enhanced biological phosphorus removal using a combined A2/O process and suspended carrier Biofilm process in pilot scale. *Progress in Environmental Science and Technology*, 2007, 1: 929~931
- 27 GAPES D J, KELLER J. Impact of oxygen mass transfer on nitrification reactions in suspended carrier reactor biofilms. *Process Biochemistry*, 2009, 44(1): 43~53

Research progress of Suspended Bio-carriers for the Water Pollution Control

LIAO Runhua HONG Yan LI Yueming WANG Zhumei SHEN Zongyang

((School of Materials Science and Engineering, Jingdezhen Ceramics Institute, Jingdezhen, Jiangxi 333403))

Abstract

The research and application progress of the suspended bio-carrier utilization in nitrogen and organic matter removal was summarized in this paper, and then the application perspective for water pollution control was predicted.

Key words suspended bio-carrier; denitrification; degradation of organic compound

Received on Mar.12,2013

LIAO Runhua, E-mail: maxlnh@126.com