

文章编号:1006-7329(2000)05-0095-07

固定化细胞技术中的载体材料 及其在环境治理中的应用

20
95-101

朱柱, 李和平, 郑泽根
(重庆建筑大学 应用科学与技术系, 重庆 400045)

X172.
X703.1

摘要:固定化细胞技术是一项生物工程新技术,此项技术的关键是所用载体材料的性能。本文总结了该项技术中的载体材料的种类及其性能,并概述了各类固定化载体材料在环境治理方面的应用。

关键词:固定化技术;载体材料;环境治理;水处理 *废水处理*
中图分类号:X172 **文献标识码:**A

固定化细胞技术是指通过化学的或物理的手段,将游离细胞定位于限定的空间区域,使之成为不悬浮于水但仍保持生物活性,反复利用的方法。固定化细胞具有细胞密度大,反应速度快,微生物流失少,产物容易分离,反应过程控制较容易等优点,与游离细胞相比,明显地显示出优越性。其中微生物被固定化后,细胞内酶系保存完整,相当于一个多酶生物反应器。这是生物工程领域的一项新兴技术。这一新技术首先在食品发酵、化工和医药工业等领域得到广泛研究与应用。如1976年 Navarro J. M 等利用固定化细胞技术生产啤酒,风味良好。

随着水污染问题日趋严重,迫切要求开发高效废水处理新技术。于是,国内外开始了将固定化细胞技术用于废水处理方面的探索。近年,固定化细胞废水处理新技术成为各国学者研究的热点,其中日本学者尤为活跃。

固定化细胞技术的关键是所采用的固定化载体材料的性能。本文主要介绍此项新技术中的载体材料的性能及其在环境治理方面,特别是在水污染治理方面的应用。

1 固定化载体材料的性能

理想的固定化细胞载体材料应具有对微生物无毒性、传质性能好、性质稳定、寿命长、价格低廉等特性。就目前固定化细胞技术中所使用的载体材料而言,主要分为三大类:有机高分子载体、无机载体和复合载体。

1.1 有机高分子载体材料

有机高分子载体材料又分为天然高分子凝胶载体和合成有机高分子凝胶载体。

1.1.1 天然高分子载体材料

此类载体材料一般对生物无毒性,传质性能好,但强度较低,在厌氧条件下易被微生物分解,寿命短。常见的此类载体有琼脂、角叉菜胶、海藻酸钠等。在这几种天然载体中,琼脂强度最差。天然

* 收稿日期:2000-04-17

作者简介:朱柱(1970-),男,重庆人,硕士生,主要从事固定化细胞技术处理高浓度有机废水研究。

的角叉菜胶在分离出影响其强度的 λ -角叉菜胶成分后,强度和稳定性有所提高,但价格较贵。相比之下,海藻酸钠具有价格低廉、制备容易、传质性能好等优点,应用最为广泛。

海藻酸钠的分子式为 $(C_5H_7O_6)_n$,聚合度 n 可以从80到750,分子量为14 000~132 000。其中海藻酸系天然有机高分子电介质,其一价盐(Na^+ 、 K^+ 、 NH_4^+)为水溶性盐,而二价以上的盐(Ca^{2+} 、 Al^{3+})为水不溶性盐,因此可形成耐热的凝胶或被膜,这是海藻酸钠经 $CaCl_2$ 溶液钙化后形成固定化凝胶的内在机理。同时,海藻酸钠易与蛋白质、明胶等多种物质共溶,并可与细胞混合形成均匀的悬浮液,使凝胶具有微生物分布的均匀性。除此之外,海藻酸钠还具有无毒、不易被大多数微生物降解等良好特性。但海藻酸钠在有机废水中各种离子的侵蚀作用下会逐渐溶解。这种侵蚀作用随着废水处理过程运行时间的延长越趋明显,从而使固定化细胞的三维结构遭到破坏,使用寿命变短。为避免这种现象,可通过在其中添加硅藻土和对固定化细胞进行表面化学处理的方法改善其性能。将硅藻土加入固定细胞中使其吸附量增大,再用交联剂己二胺和戊醛对固定化细胞进行表面化学处理,既可维持固定化细胞的活性,又可减少侵蚀腐败作用,提高机械强度,延长其使用寿命。通过改性后的海藻酸钠是优良的固定化有机载体。

1.1.2 合成有机高分子载体材料

合成高分子凝胶载体一般强度较大,但传质性能较差,在进行细胞固定时对细胞活性有影响。常见的此类载体有聚丙烯酰胺(简称ACAM)、聚乙烯醇(简称PVA)、光硬化树脂、聚丙烯酸凝胶等。聚丙烯酰胺(ACAM)凝胶在包埋细胞时,由于交联过程中的放热以及交联试剂本身的毒性,细胞在固定化过程中往往失活。对此,可采取先用天然高分子凝胶琼脂包埋细胞后,再用ACAM进行包埋的二次包埋固定化方法,以克服此弱点。

聚乙烯醇(PVA)分子式为 $(CH_2CHOH)_n$,PVA凝胶的制备方法有两种:一种是PVA-冷冻法,另一种是PVA- H_3BO_3 法。PVA- H_3BO_3 法适宜的包埋条件为PVA浓度10%, H_3BO_3 为饱和溶液,交联时间24h,包泥量1:1。PVA凝胶一般强度较高,价格低廉,相对于ACAM凝胶,对微生物的毒性较小。但PVA凝胶有时由于交联不彻底,少量TOC成分溶出,在高温下强度变低。若在PVA- H_3BO_3 法固定细胞制备过程中,用 Na_2CO_3 事先将 H_3BO_3 溶液的PH值调至6.7左右,或将制成的凝胶放入水中浸泡几天,可提高其在高温时的强度。PVA凝胶在制备过程中若加入少量粉末活性炭,可提高凝胶强度。同时,这种复合凝胶制成的固定细胞在进水不稳、难降解组分突然进入处理系统的情况下,与单一PVA凝胶相比显示出优势。

几种常用固定化细胞有机载体材料的性能比较如表1。

表1 几种固定化细胞有机载体材料的性能比较*

载体材料	琼脂	海藻酸钙	角叉菜胶	聚丙烯酰胺	聚乙烯醇-硼酸
压缩强度	0.5	0.8	0.8	1.4	2.75
耐曝气强度	差	一般	一般	好	好
扩散系数 ($\times 10^{-6}cm^2/s$)	/	6.8	3.73	5.44~6.67	3.42
有效系数**	75	68	58	60	/
耐生物分解性	差	一般	一般	好	好
对生物毒性	无	无	无	较强	一般
固定化难易	易	易	易	难	较易
成本	便宜	较便宜	贵	贵	便宜

* 基质为葡萄糖

** 有效系数 = $\frac{\text{固定化细胞的氧利用速度}(mg/h)}{\text{将固定化细胞破碎时的氧利用速度}(mg/h)} \times 100$

1.1.3 固定化有机载体的制备方法

固定化有机载体的制备方法主要采用包埋法。此法是利用高聚物在形成凝胶时将细胞包埋在其内部,从而达到固定细胞的目的。其操作流程如下图:

1.2 无机载体材料

无机载体如多孔陶珠、红砖碎粒、砂粒、活性炭等,具有机械强度大、对微生物无毒性、不易被微生物分解、耐酸碱、成本低、寿命长等特性,因而是一类重要的载体材料。

无机载体大多具有多孔结构,在与微生物接触时,利用吸附作用和电荷效应,从而把微生物固定。无机载体内部有较大的孔隙度,可以容纳不断增殖的微生物,使得载体内细胞浓度增大,提高了处理效率。

无机载体的固定化方法简单易行,只需把载体放入含有微生物一定浓度的溶液中,固定一段时间(一般为24h左右)即可。

常见的几种无机载体中,多孔陶珠的吸附能力强,孔径可调控。针对不同大小的微生物,可选用相应规格的陶珠作载体,灵活度大。但在现有条件下,大规模制造陶珠仍有一定困难,成本较高。红砖碎粒是一种来源广、成本低、易制造的细胞固定化载体材料,在吸附性能、酸碱耐受性、细胞的增殖速度及处理效果方面,具有实用性,具备了载体材料的基本条件,有较大的应用前景。

1.3 复合载体材料

由于有机载体材料和无机载体材料各有优缺点,而两类材料在许多性能方面互补,因此,可将这两类载体材料结合,组成复合载体材料,以改进材料的性能。

Lin等人在这方面进行了尝试,他们利用海藻酸钙凝胶联合包埋固定 *Phanerochaete chrysosporium* 和粉末活性炭,用于降解五氯酚(PCP)。他们所用复合固定化体系包括3个组分:生物催化剂、吸附剂和固态底物,其中,吸附剂主要用于富集有毒污染物,提供给微生物进一步生物降解,并能减轻其对生物催化剂的抑制作用;固态底物用于支持降解并减少其他生物的干扰。结果表明:复合固定化体系能更加有效地降解PCP,显示出复合载体材料的优越性。

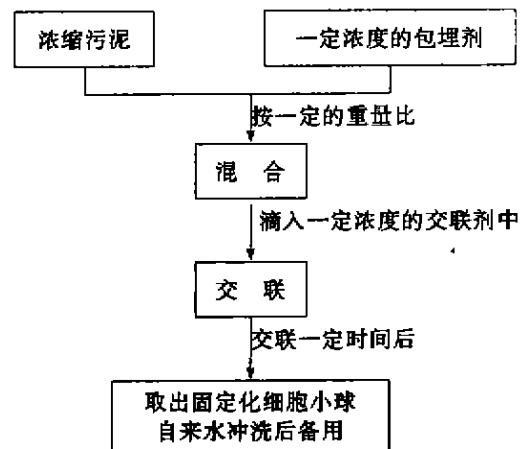


图1 有机载体固定细胞操作流程图

2 固定化载体材料在环境治理中的应用

固定化细胞技术在环境治理方面,主要用于废水处理。此技术用于治理废水,可在反应器内保持高生物浓度,反应启动快,处理效率高,污泥发生量少,固液分离简单,对有毒物质的耐受能力强,因而该技术在废水处理中备受关注。

2.1 海藻酸钙载体在废水治理中的应用

周定等^[1]用海藻酸钙包埋固定热带假丝酵母(*Candida tropicalis*),在自制的三相流化床反应器内进行含酚废水的连续处理。进水酚浓度为300 mg/l,出水酚浓度小于0.5 mg/l。与悬浮微生物法相比,酚的容积负荷可提1倍以上,污泥发生量减少量90%。

孙艳等^[2]利用海藻酸钙包埋固定SY菌种,经驯化后使该菌种的耐酚能力提高到915 mg/l,并经过正交实验确定了制备该菌种固定化细胞的最优操作条件为:湿菌体量50 g/l, CaCl₂的质量浓度为8%,海藻酸钙的质量浓度为3%,钙化时间为8 h。

Pai等^[3]用海藻酸钙凝胶颗粒(内含1%颗粒活性炭、4%海藻酸钙、1%湿菌体)降解苯酚,为提高固定化颗粒的机械强度,将该载体在聚乙烯亚胺溶液中浸泡。结果表明,与颗粒活性炭相比,海藻

酸钙颗粒具有更高的苯酚去除速率。

Sofer 等^[4]利用海藻酸钙固定化活性污泥降 2-氯酚,并优化了固定化细胞系统中影响海藻酸钙的稳定性和细胞活性的参数。

Uchiyama 等^[5]用海藻酸钙包埋固定化 *Methylocystis* sp. 细胞在玻璃反应器中以半连续和连续方式降解三氯乙烯,固定化细胞的比降解速率分别为 0.46 和 0.04 ug/(mg·细胞·h)。

Ferschl 等^[6]以海藻酸钙为载体包埋固定化食酸假单胞菌 *Pseudomonas acidovorans*,用于连续降 3-氯苯胺。

2.2 聚乙烯醇(PVA)载体在废水治理中的应用

Amanda 等^[7]以 PVA-H₃BO₃ 包埋法固定假单胞菌 *Pseudomonas* 在流化床反应器中连续降解苯酚。固定化细胞连续运行两周,进水酚浓度 250 mg/l 逐渐提高到 1 300 mg/l,出水酚浓度均为 0,且固定化细胞具有良好的机械强度。

王建龙等^[8]利用 PVA 固定化微生物降解邻苯二甲酸二丁酯(DBP),实验发现:与游离微生物相比,固定化微生物的降解速率明显提高。

黄震等^[9]以 PVA-无纺布混合载体包埋固定化优势菌种,用于降解喹啉、异喹啉和吡啶。结果表明:3 种难降解有机物经固定化细胞处理 8 小时后,降解率均在 90%以上。

陈敏等^[10,11]利用 PVA 包埋活性炭与微生物,并对有机磷农药水胺硫磷进行了降解。试验结果表明:固定化细胞对温度、PH 值和水胺硫磷浓度的适用范围扩大。3 个月连续试验,进水 COD 为 1 300~2 500 mg/l, HRT 为 24 h,去除率为 55%~72%。

王蕾等^[12]以 PVA 为载体固定活性污泥,采用厌氧-好氧工艺处理四环素结晶母液。

市村等人^[13]用以 PVA 为主链的光架桥性树脂预聚物(PVA-SBQ)与海藻酸钠结合包埋固定化硝化菌,在有效容积为 1.18 L 的内循环式流化床中进行了 50 d 的连续硝化试验。结果将 NH₃-N 从 80 mg/l 降至 20 mg/l,容积负荷达 20 kg NH₃-N/(m³·d)。

刘志培等人^[14]利用 PVA 固定化混合细菌,进行了印染废水脱色的研究。试验结果表明:脱色率可维持在 70%~80%,达到了处理要求。

2.3 聚氨酯泡沫载体在废水治理中的应用

Anseimo 等^[15]以聚氨酯泡沫为载体固定镰刀菌 *Fusarium* sp. 菌丝体,在完全混合反应器中降解酚。结果表明:与游离细胞相比,固定化细胞降解苯酚的速率要大得多,且固定化细胞生物产量低。

Hu 等^[16]以聚氨酯泡沫为载体固定化黄杆菌 *Flavobacterium* 细胞降解五氯酚。实验发现,固定化载体对五氯酚的吸附减轻了其对微生物的毒性。外加碳源可促进细胞生长,提高五氯酚的去除速率,采用底物抑制模型能满意地预测五氯酚的降解过程。

O'Reilly 等^[17]用聚氨酯泡沫固定化黄杆菌细胞降解五氯酚。Commarota 等用聚氨酯固定化白腐真菌 *Phanerochaete* sp. 细胞,用于处理纸浆废液,当 HRT 为 5.8 d 时,脱色率达 70%,总酚去除率 64%,COD 去除率为 50%。

2.4 聚丙烯酰胺载体在废水治理中的应用

日本的角野立夫和桥本奖等人^[18,19,20]分别进行了这方面的研究。角野立夫等人利用聚丙烯酰胺包埋固定活性污泥进行人工合成废水(BOD 为 300 mg/l)的处理研究。连续运行 1 000 d,出水水质稳定在 BOD<20 mg/l。固定化后微生物中的酶稳定,对温度、PH 值的忍耐性增强,活性污泥基本无泄露。

日本的中村裕纪等人^[21,22]用聚丙烯酰胺包埋固定硝化菌和脱氮菌,采用好氧硝化与厌氧反硝化两段工艺进行合成废水的脱氮试验。与悬浮生物法相比,低温下硝化速度增大了 6~7 倍,脱氮速度提高了 3 倍。50 d 的连续处理试验表明:停留时间由原来的 7 h(硝化 4 h+反硝化 3 h)缩短为 4 h(硝化 2 h+反硝化 2 h)。这样设备将缩小 50%。

Michel, L. j. 等人利用聚丙烯酰胺包埋固定化柠檬酸细菌(*Citrobacter sp.*), 用于富集废水中的金属镉。在最优条件下, 使用单级固定化细胞反应柱, 金属去除率达 100%^[23, 24]。这种固定化细胞不仅可用于去除金属 Cd, 同样也适用于去除金属 Pd、Cu 以及其它金属^[25, 26]。

2.5 明胶载体在废水治理中的应用

Crecchio 等^[27]利用明胶包埋固定 2 种多酚氧化酶: 漆酶(laccase)和酪氨酸酶(tyrosinase), 用于降解芳香族化合物。他们优化了固定化条件及固定化酶和游离酶的最适宜温度和 PH 值。结果表明: 固定化漆酶和酪氨酸酶 1-萘酚、邻苯二酚、2,4-二氯苯酚(2,4-DCP)和 2,6-二甲氧基苯酚(2,4-DMP)的最大去除率分别为 98%, 70%, 35%, 95% 和 40%, 92%, 42%, 50%。

2.6 琼脂载体在废水治理中的应用

罗志腾等人^[28]以琼脂为载体, 包埋固定化厌氧活性污泥细菌群, 用 0.5% 的戊二醛交联。固定化细胞颗粒操作稳定性较好, PH 在 6.0~8.0 时, COD 去除率均在 75% 以上。进水 COD 为 7300 mg/l, 回流比为 24 时, COD 去除率达 83.6%。

2.7 卡拉胶载体在废水治理中的应用

设乐等人^[29, 30]用卡拉胶固定化脱氮菌, 在充填率为 30% 的 4 L 反应器中对合成废水进行了 70 d 的连续脱氮试验。当负荷小于 1.5 kg NO_x-N/(m³·d) 时, 出水中的 NO_x-N 小于 10 mg/l, 当负荷提高到 3.2 kg NO_x-N/(m³·d) 时, 产生大量的氮气, 使颗粒上浮, 致使处理效果下降。

Tramper 等人^[31, 32]研究了卡拉胶固定化 *Nitrobacter agilis* 的性能。

2.8 角叉菜胶载体在废水治理中的应用

Wijffels 等^[33]用角叉菜胶载体固定从土壤中分离出的反硝化菌, 在容积为 2 l 的外循环流化床中进行了脱氮试验。HRT 为 1 h, 进水 NO_x-N 浓度为 8~16 mol/m³, 固定化细胞的填充率为 11.1% 时, 脱氮率可达 90% 以上, 填充率为 16.5% 时, 脱氮率为 95% 以上。

2.9 颗粒活性炭载体在废水治理中的应用

Voice 等^[34]用颗粒活性炭为载体固定化微生物在三相流化床反应器中降解苯、甲苯和二甲苯的混合物。

2.10 砂粒载体在废水治理中的应用

Wagner 等^[35]采用平均直径为 212 μm 的砂粒作载体固定化假单胞菌 *Pseudomonas* 在外循环三相流化床反应器中降解苯-2-磺酸, 并研究了生物膜扩散限制对反应动力学的影响。实验中反应器内载体浓度为 20~30 g/l, 生物膜厚度为 (75±10) μm, COD 容积负荷达 58 kg/(m³·d)。

2.11 纤维载体在废水治理中的应用

钱新民等人^[36]利用纤维固定化红螺菌处理发酵废液。他们在填充软性纤维材料的柱式反应器内, 利用 *Rhodospseudomonas Palustris* Y6 光合细菌(PSA)连续处理发酵废液, COD 去除能力为 1686.0 ppmCOD/h, 并建立了该系统的动力学模型。

2.12 多孔硅酸盐载体在废水治理中的应用

王孔星等人^[37]选用多孔性硅酸盐材料做无机载体, 吸附固定化混合脱色菌。试验用塔高 4 m, 直径 1.6 m, 总体积 7.4 m³。试验结果表明: 固定化细胞反应塔脱色处理 80 min, 色度去除率平均达 85.15%, 出水色度均在 100 以下, 符合排放标准。

黄晓维等人^[38]用红砖碎粒为载体固定脱色混合菌对染料废水进行了脱色处理。作用时间为 2 h, 对染料废水的脱色率将近 60%。试验结果表明, 红砖碎粒在吸附性能、酸碱耐受性、细胞的增殖速度及脱色效果方面, 显示出实用性。

3 固定化载体材料的应用前景

近年来, 固定化载体材料以其独特的优点引起了人们的普遍关注并获得了广泛的研究, 但在实

际应用过程中还有许多问题需要解决:

1) 由于不能精确测定固定化载体内微生物浓度,因此,目前尚缺乏适用于固定化细胞系统的设计、运行管理及最佳控制的动力学处理法。

2) 固定化载体的成本及使用寿命是决定其经济可行性的关键。目前所用载体材料价格较高,使用寿命较短,限制了该技术在实际中的推广。

3) 包埋载体对基质(特别是氧气)和产物存在扩散阻力。因此需要高效曝气和混合设备才能使固定化细胞处于良好的微环境中,发挥其作用。

目前,关于固定化细胞技术中的载体材料的研究主要集中在有机材料方面,而对无机载体材料和复合载体材料研究不够,笔者认为无机载体和复合载体材料是两类很有前途的载体材料,建议今后多加强这两类材料的研究,以寻找到价格便宜、使用寿命长、性能优良的理想载体。随着对该项技术的不断深入研究和发 展,固定化细胞技术必将在实际中获得广泛的运用。

参考文献:

- [1] 周定等. 固定化微生物处理含酚废水研究[J]. 环境科学, 1990, 11(1): 1~6
- [2] 孙艳等. 一种耐酚菌种及其固定化细胞降解含酚废水性能的比较研究[J]. 环境科学研究, 1999, 12(1): 1~4
- [3] Pai S L, et al. Continuous degradation of phenol by *R. hodococcus* sp. Immobilized on granular activated carbon and in calcium alginate[J]. *Bioresource Technol.* 1995, 51: 37~42
- [4] Sofer S S, et al. Degradation of 2-chlorophenol by immobilized cell[J]. *J Wat Pollu Control Fed.* 1990, 62(1): 73~80
- [5] Uchiyama H, et al. Degradation of Trichloroethylene—degrading bacterium, *Methylocystis* sp. strain M in different matrices[J]. *J Ferment Bioeng.* 1994, 77: 173
- [6] Ferschl A, et al. Continuous degradation of 3-chloroaniline by calcium alginate-entrapped cells of *Pseudomonas acidovorans* CA 28; influence of additional substrates[J]. *Appl Microbiol Biotechnol.* 1991, 35: 544~550
- [7] Amanda K Y, et al. Cell immobilization using PVA crosslinked with boric acid[J]. *Biotechnol Bioeng.* 1992, 39: 447~449
- [8] Wang Jianlong, et al. Microbial degradation of di-butyl-phthalate[J]. *Chemosphere.* 1995, 31(9): 4051~4056
- [9] 黄震, 等. 固定化优势菌种处理焦化废水中几种难降解有机物的试验研究[J]. 中国环境科学, 1995, 15(1): 1~4
- [10] 陈敏, 等. 聚乙烯醇包埋活性炭与微生物的固定化技术及其对水胺硫磷降解的研究[J]. 环境科学, 1994, 15(3): 11~14
- [11] 张小荷, 等. 固定化微生物对水胺硫磷降解活性指标的评价[J]. 环境科学, 1994, (4): 53~55
- [12] 王蕾, 等. 固定化细胞厌氧—好氧工艺处理四环素结晶母液的实验研究[J]. 环境科学, 1995, 16(1): 29~31
- [13] 市村, 等. 用水与废水[J]. 1987, 29(8): 20
- [14] 刘志培, 等. 环境科学[J]. 1992, 13(1): 2
- [15] Anselmo A M, et al. Degradation of phenol by immobilized mycelium of *Fusarium flocciferum* in continuous culture[J]. *Wat Sci Tech.* 1992, 25(1): 161~168
- [16] Hu Z, et al. Immobilized and Biodegradation of pentachlorophenol by polyurethane-immobilized *Flavobacterium* [J]. *Environ Sci Technol.* 1994, 28: L491
- [17] O'Reilly KT, et al. Degradation of pentachlorophenol by polyurethane-immobilized *Flavobacterium* cells[J]. *Appl Environ Microbiol.* 1989, 55: 2113-2118
- [18] 角野立夫, 等. 用水与废水[J]. 1985, 27(10): 52
- [19] 角野立夫, 等. 日本工业用水协会第 19 回研究发表会讲演要旨集[C]. 1988: 74
- [20] 内田, 等. 土木学会第 42 回年次学术讲演会[C]. 1987: 832
- [21] 中村, 等. 公害与对策[J]. 1986, 22(2): 27
- [22] 中村等. 第 22 回下水道研究发表会讲演集[C]. 1985: 256
- [23] Michel L J et al. *Biotechnol. Bioeng* [J]. 1986, 28: 1358

- [24] Macaskie L E et al. Environ. Technol. Lett[J]. 1984,5:177
- [25] Macaskie L E et al. Biotechnol. Lett[J]. 1985,7:627
- [26] Macaskie L E et al. Biotechnol. Lett[J]. 1985,7:457
- [27] Crecchio C, et al. Polyphenoloxidases immobilized in organic gels: properties and applications in the detoxification of aromatic compounds[J]. Biotechnol bioeng, 1995, 48:585~591
- [28] 罗志腾,等. 城市环境与城市生态[J]. 1990,3(2),1
- [29] 设乐,等. 下水道协会志[J]. 1983,20(234):31
- [30] 设乐,等. 下水道协会志[J]. 1984,21(236):35
- [31] Tramper J et al. Enzyme Microb. Technol[J]. 1986,8(8):477
- [32] Tramper J et al. Enzyme Microb. Technol[J]. 1986,8(8):472
- [33] Wijffels R H et al. Appl. Microbiol. Biotechnol[J]. 1990,34:399
- [34] Voice T C, et al. Biological activated carbon in fluidized bed reactors for the treatment of groundwater contaminated with volatile aromatic hydrocarbons[J]. Wat Res. 1992,26:1389
- [35] Wagner K, et al. Biodegradation by immobilized bacteria in an airlift-loop reactor-influence of biofilm diffusion limitation[J]. Biotechnol Bioeng, 1988, 31:559-566
- [36] 钱新民,等. 生物工程学报[J]. 1992,8(3):271
- [37] 王孔星,等. 环境科学与技术[J]. 1990,2(2)
- [38] 黄晓维,等. 红砖碎粒载体固定化细胞某些性质的研究[J]. 工业水处理, 1989,9(5):23~25
- [39] 孙艳,等. 用于生物降解酚类毒物的固定化细胞性能改进的研究[J]. 环境科学研究, 1998,11(1)
- [40] 王建龙,等. 固定化微生物技术在难降解有机污染物治理中的研究进展[J]. 环境科学研究, 1999,12(1)

The Supporter Materials in Mobilization Cell Technology and Their Applications in Environmental Pollutant Treatment

ZHU Zhu, LI He-ping, ZHENG Ze-gen

(Department of Applied Science and Technology, Chongqing Jianzhu University, Chongqing 400045, China)

Abstract: The immobilization cell technology is a new biological engineering technique. The key for this technology is the characteristics of the immobilization supporter materials used. In this work, the categories and characteristics of the supporter materials in this technology are presented. The applications of the immobilization supporter materials in environmental pollutant treatment are also reviewed.

Key words: immobilization cell technology; supporter material; environmental pollutant treatment; water treatment