

厌氧膨胀颗粒污泥床反应器应用进展*

A Review of Application of Expanded Granular Sludge Bed Reactor

马丽丽, 解庆林, 游少鸿

MA Li-li, XIE Qing-lin, YOU Shao-hong

(桂林工学院资源与环境工程系, 广西桂林 541004)

(Department of Resource and Environmental Engineering, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要:在介绍厌氧膨胀颗粒污泥床(EGSB)的特点的基础上,分析EGSB反应器的应用进展。EGSB采用出水回流技术,反应器内的液体具有较高的上升流速,且出水回流可稀释硫酸盐及其它有毒有害物质的浓度,污水与微生物之间可充分接触,能承受较大的有机负荷,有效避免反应器内死角和短流的产生。应用EGSB反应器处理低温低浓度污水和高浓度或有毒、难降解工业废水,COD去除率较高,具有其它厌氧反应器不可比拟的优势,可广泛应用于多种污水处理工程。

关键词: 废水处理 EGSB反应器 应用 进展

中图分类号:X703 文献标识码:A 文章编号:1002-7378(2006)01-0051-04

Abstract: The characteristics and applications of Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) are introduced. With application of effluent circulation in EGSB reactor, the upflow liquid can move at a pretty high speed in the reactor. The circulating liquid can dilute sulfate and other toxic and harmful substances, and strengthen the contact between wastewater and microorganisms. At that point, the chamber of the reactor can be used in a great extent, and has a high organic load. The EGSB reactor can be employed in the treatment of the low temperature low concentration wastewater and high concentration or toxic and hard decomposition industrial wastewater, and obtain a high percentage removal of COD.

Key words: wastewater, treatment, EGSB reactor, application, review

厌氧膨胀颗粒污泥床(Expanded Granular Sludge Bed,简称EGSB)反应器是荷兰农业大学的Lettinga教授等在20世纪80年代后期对UASB反应器进行改良而开发的第三代厌氧反应器,因其具有结构简单、有机负荷高、适应性广等特点,受到国内外普遍重视,已被用于淀粉、啤酒、酒精、屠宰、味精、柠檬等工业废水的处理^[1]。随着城市生活污水和工业废水总量的增加,EGSB反应器的发展迅速,成

为厌氧工艺的一支新生力量。为此,本文在介绍EGSB反应器特点基础上,分析EGSB反应器在污水处理中的应用进展。

1 EGSB反应器的特点

EGSB反应器是对UASB反应器的改进,除反应器主体外,EGSB反应器主要由配水系统、反应区、三相分离器、沉淀区、出水系统和出水循环系统等构成^[2]。与UASB反应器相比,EGSB能在高负荷下对低温低浓度有机废水取得高处理效率,可维持很高的水流上升流速。反应器内颗粒污泥床呈膨胀状态,颗粒污泥性能良好。在高水力负荷条件下,EGSB反应器内颗粒污泥的粒径较大、凝聚和沉降性能好、机械强度也较高。EGSB能承受较大的有机

收稿日期:2005-06-29

修回日期:2005-10-11

作者简介:马丽丽(1981-),女,山东滨州人,在读硕士研究生,主要从事环境工程研究。

* 广西区教育厅科研项目(桂教科研 2003-22-1)和广西高校百名中青年学科带头人计划项目(编号:桂教人 2003-97)联合资助。

负荷,且对布水系统要求较为简单^[2,3]。

由于 EGSB 采用出水回流技术,提高反应器内的液体上升流速,使颗粒污泥床层充分膨胀,污水与微生物之间充分接触,加强传质效果,还可以避免反应器内死角和短流的产生。对于低温和低负荷有机废水,回流可提高反应器的水力负荷,保证处理效果。对于超高浓度或含有毒物质的有机废水,回流可以稀释进入反应器内的基质浓度和有毒物质浓度,降低其对微生物的抑制和毒害^[3]。

2 EGSB 反应器的应用进展

2.1 EGSB 处理低温低浓度污水

EGSB 反应器采用较高的水流上升流速,污水与污泥之间可以充分接触,传质效果良好,且颗粒污泥的形成和大量兼性菌的存在,使其在处理低浓度污水方面具有很大的优势^[4]。Salih Rebac 等^[5]研究用单个和两个 EGSB 反应器在低温条件下处理低浓度的人工合成废水和麦芽废水,在有机负荷(OLR)为 $12\text{kgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$,水力停留时间为 1.6h,温度为 $10\sim 12\text{C}$ 条件下,当进水 COD 为 $500\sim 800\text{mg}/\text{L}$ 时,单个 EGSB 反应器的 COD 去除率可达 90% 以上。当温度为 $10\sim 15\text{C}$,OLR 为 $2.8\sim 12.3\text{kgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$,水力停留时间为 3.5h 时,2 个 EGSB 反应器系统对可溶性 COD 的去除率可达 67%~78%,对挥发性脂肪酸的去除率可达 90%~96%。

Libing Chu 等^[6]应用与膜结合的 EGSB 反应器处理中、低温生活污水,所用 EGSB 反应器内径为 0.056m,高为 1.7m,总容积为 4.18L,所用废水为糖、土豆淀粉、蛋白胨、尿素等配成的模拟生活污水。当温度控制在 15C 以上时,该反应器 COD 去除率可达 90%,TOC 去除率可达 88%;在 11C 条件下,当水力停留时间从 3.5h 增至 5.7h 时,COD 去除率从 76% 增至 81%。

王凯军等^[7]以水解反应器对城市污水进行预处理,去除 SS 并提高 COD 的溶解性和可生化性后,出水进入 EGSB 反应器,在温度 $8\sim 12\text{C}$,EGSB 的水力停留时间仅为 2h 时,COD 的去除率为 60%。大量研究结果^[8]表明,EGSB 在处理低浓度废水方面具有潜在的优势,但目前在我国 EGSB 的应用仅处于研究阶段,尚未有生产规模的 EGSB。

2.2 EGSB 处理中、高浓度污水

由于 EGSB 反应器能承受的负荷最高可达 $30\text{kg COD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$,比 UASB 反应器最高负荷 $10\text{kg COD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ 要高出近 2 倍,因而它在处理中、高浓

度废水时,EGSB 也同样能获得良好的效果。国外在中、高浓度废水处理方面的研究较多,并已投入实际应用。如,德国第一座 EGSB 反应器用于处理淀粉废水,该反应器高度为 14m,体积为 750m^3 ,反应器进水 COD 浓度为 $3500\text{mg}/\text{L}$,其去除率可以达到 70%~85%,沼气中甲烷的含量达到 80%,且在运行后的前 4 个月土豆废水中的 SS 并未引起颗粒污泥退化^[9]。荷兰 Peka Kroef 厂在土豆和蔬菜加工过程中产生的高浓度污水,污水的温度低、COD 高、悬浮物含量高,且水质波动大,采用 EGSB 反应器处理,COD 去除率约为 70%^[10]。

Núñez 等^[11]研究了中温(35C)条件下 EGSB 反应器处理屠宰废水的情况,屠宰废水中含有大量可生物降解有机物,其总 COD 浓度为 $1440\sim 4200\text{mg}/\text{L}$, BOD_5 为 $1100\sim 2400\text{mg}/\text{L}$,还有很多不可溶解的悬浮物和胶体,如:脂肪、蛋白质和纤维素等。应用内径为 0.044m,高 1.4m,总容积为 2.13L,反应器内液体上升流速控制在 $8\text{m}/\text{h}$ 左右,经 EGSB 反应器处理,在有机负荷为 $15\text{kgCOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$,HRT 为 5h 的运行条件下,COD 平均去除率为 67%,总悬浮固体去除率为 90%,脂肪类去除率为 85%,在颗粒污泥上没有脂肪类物质的积累。

国内很多学者对 EGSB 处理中、高浓度废水也展开研究,并且部分已投入实际应用。如左剑恶等^[12]对 EGSB 反应器处理高浓度自配水进行试验研究,在中温条件($31\sim 35\text{C}$)下,当进水 COD 浓度 $8200\sim 9000\text{mg}/\text{L}$ 时,进水 COD 负荷可达 $41.9\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$,COD 去除率最高可达 98%,出水 COD 浓度小于 $500\text{mg}/\text{L}$ 。张振家等^[13~16]应用 EGSB 处理 COD $5000\sim 6000\text{mg}/\text{L}$,pH 值 $6\sim 6.5$,SS $1500\sim 2000\text{mg}/\text{L}$,温度 33C 左右的变性淀粉生产废水,通过混凝沉淀、EGSB 和好氧活性污泥法联合处理工艺,COD 的去除率高于 85%,出水水质良好,达到了国家污水综合排放一级标准。李克勋等^[17]采用 EGSB 处理平均 COD 含量在 $10000\text{mg}/\text{L}$ 以上的褐藻酸钠生产废水,通过采用两级 EGSB 厌氧加好氧处理工艺,COD 去除率达到 90% 以上,出水达到了国家污水综合排放二级标准。EGSB 厌氧反应器不但减轻后续单元的处理压力,并且有助于好氧反应器对有机物的去除,节约了运行成本。

任洪强等^[18]把 EGSB 工艺用于处理茶多酚生产废水,茶多酚废水中主要含有茶多酚及其氧化产物、氨基酸、水溶果胶、水溶蛋白、残留提取溶剂和一定量的茶渣等,是一种含悬浮物的高浓度有机废水。

目前国内外关于茶多酚废水净化和处理的报道较少。任洪强等^[18]先将废水通过混凝气浮预处理,再采用 EGSB-CASS 处理工艺,在系统进水 COD 为 36960~43182mg/L,SS 为 6562~10904mg/L 条件下,出水 COD<250 mg/L,SS<70 mg/L,COD 和 SS 的去除率均达到 99%以上,系统出水可达标排放水标准。

2.3 EGSB 处理含硫酸盐废水

味精、糖蜜酒精及青霉素等废水中 COD 与硫的比率(COD/S)以及反应器中的 pH 值是重要的控制参数,硫酸盐通过硫酸盐还原菌(SRB)对产甲烷菌(MPB)的抑制主要取决于 COD/S 的值,而反应器中的 pH 值则影响溶液中硫化物所起抑制作用的程度。EGSB 可以通过出水回流对硫酸盐进行稀释,调节 COD/S 值,这是 EGSB 适于处理含硫酸盐废水的主要原因。

链霉素属微生物类药物,对革兰氏阳性菌和结核杆菌都有较强的抗菌作用,由于链霉素生产过程中排放的有机废水,具有有机物含量高、硫酸盐浓度高的特点,因而在生物处理上具有一定的难度。赵秀梅等^[19~22]采用 EGSB 工艺处理链霉素有机废水,处理效果较好。在进水 COD 为 5000~13000mg/L, SO_4^{2-} 浓度为 500~1800mg/L 条件下,COD 的去除率可达 70%以上, SO_4^{2-} 的去除率在 60%左右。

2.4 EGSB 处理有毒性、难降解废水

由于 EGSB 反应器由于具有很高的出水循环比率,可以将原水中毒性物质的浓度稀释到微生物可以承受的程度,从而保证反应器中的微生物能良好生长。同时,由于反应器中水流上升流速大,废水与微生物之间能够充分接触,可以促进微生物降解基质。因此,采用 EGSB 反应器处理毒性或难降解的废水可以获得较好的效果。

荷兰某化工厂以甲醇为原材料生产甲醛,所产生的甲醛废水中含有大量的甲醛和甲醇,废水的 COD 为 40g/L,甲醛为 10g/L,甲醇为 20g/L。该厂采用 EGSB 反应器处理废水,回流比为 30 倍,大大降低了甲醇和甲醛的浓度,处理效果较好^[23]。反应器在 HRT 为 1.8h,上升流速为 9.4m/h,容积负荷为 17kgCOD/m³·d 的运行条件下,COD 的去除率在 98%以上,出水中甲醇和甲醛的浓度平均为 20mg/L,去除率可达 99.8%^[23]。

3 结束语

随着国民经济的发展和人口的不断增加,城市

生活污水和工业废水的总量也在不断增加,EGSB 反应器在处理低温低浓度的污水和高浓度或有毒性工业废水方面具有其它厌氧反应器所不可比拟的优势。但由于目前国内对 EGSB 在这方面的应用研究不多,尚未有生产规模的 EGSB 出现。国外在 EGSB 反应器处理中、高浓度污水方面的研究较多,国内学者也在这方面作了一些研究,并已投入应用,取得了较好的效果,发展前景较好。EGSB 利用回流系统将硫酸盐或有毒、难降解物质的浓度稀释,在处理含硫酸盐废水和有毒性、难降解废水方面具有一定的优势,今后可在这方面开展进一步的研究。

参考文献:

- [1] 颜智勇,胡勇有,凌霄,等.厌氧颗粒污泥膨胀床中三相分离器的优化设计[J].工业用水与废水,2003,34(4):5-8.
- [2] 左剑恶,王妍春,陈浩.膨胀颗粒污泥床(EGSB)反应器的研究进展[J].中国沼气,2000,18(4):3-8.
- [3] 季民,霍金胜.厌氧颗粒污泥膨胀床(EGSB)的工艺特征与运行性能[J].工业用水与废水,1999,30(4):1-4.
- [4] 马建勇,杨凤林,张兴文.低浓度废水厌氧处理的研究进展[J].环境污染治理技术与设备,2002,3(8):64-66.
- [5] SALIH REBAC, JULES B VAN LIER, PIET LENS, et al. Swinkels and Gatze Lettinga, Psychrophilic anaerobic treatment of low strength wastewaters [J]. Water Science and Technology, 1999, 39(5): 203-210.
- [6] LIBING CHU, FENGLIN YANG, XINGWEN ZHANG. Anaerobic treatment of domestic wastewater in a membrane-coupled expanded granular sludge bed (EGSB) reactor under moderate to low temperature [J]. Process Biochemistry, 2005, 40(3-4): 1063-1070.
- [7] 王凯军, LAST A R, VANDER M, 等.水解与颗粒污泥膨胀床串联工艺处理城市污水[J].中国给水排水, 1999, 15(8): 19-23.
- [8] 初里冰,杨凤林,张兴文.低温厌氧处理低浓度废水处理进展[J].环境污染治理技术与设备,2003,4(4):61-65.
- [9] AUSTERMANN-HAUN U, MEYER H, SEYFRIED C F, et al. Full scale experiences with anaerobic/aerobic treatment plants in the food and beverage industry [J]. Water Science and Technology, 1999, 40(1): 305-312.
- [10] GEORGE R, ZOUTBERG, ZERRIN EKER. Anaerobic treatment of potato processing wastewater [J]. Water Science and Technology, 1999, 40(1): 297-304.
- [11] NÅNEN L A, MARTINEZ B. Anaerobic Treatment of

Slaughterhouse Wastewater in an Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) Reactor [J]. Water Science and Technology, 1999, 40(8): 99-106.

- [12] 左剑恶,王妍春,陈浩. 膨胀颗粒污泥床(EGSB)反应器处理高浓度自配水的试验研究[J]. 中国沼气, 2001, 19(2): 8-11.
- [13] 张振家,李克勋,张扬. 高浓度变性淀粉生产废水的处理[J]. 中国给水排水, 2003, 19(4): 86-87.
- [14] 李克勋,张振家,张扬. 厌氧-好氧处理变性淀粉生产废水工程实例[J]. 工业水处理, 2003, 23(6): 53-55.
- [15] 李克勋,张振家,张扬. 变性淀粉生产废水处理工程设计[J]. 中国沼气, 2003, 21(2): 17-19.
- [16] 李克勋,张振家,张扬. 变性淀粉生产中的废水处理工程改造实例[J]. 食品与发酵工业, 2002, 29(1): 79-82.
- [17] 李克勋,近藤和史,张振家. 高浓度褐藻酸钠生产废水处理工程设计[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(2): 65-66.
- [18] 任洪强,丁丽丽,王晓蓉. EGSB-CASS 工艺处理茶多酚废水的工业化研究[J]. 环境科学学报, 2002, 22

(6): 792-795.

- [19] 李建英,牛平山,吴根. EGSB 反应器处理链霉素有机废水工业性试验研究[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(11): 24-34.
- [20] 赵秀梅. 膨胀颗粒污泥床反应器处理链霉素有机废水[J]. 中国环保产业, 2002(11): 36-39.
- [21] 任立人,赵秀梅,张天兵. 膨胀颗粒污泥床(EGSB)反应器高效处理链霉素有机废水试验研究[J]. 给水排水, 2003, 29(7): 38-41.
- [22] 吴根,赵秀梅,吴红兵,等. 厌氧膨胀颗粒污泥床处理高浓度链霉素含硫有机废水试验研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(9): 32-34.
- [23] GEORGE R, ZOUTBERG, PETER DE BEEN. The Biobed (r) EGSB system covers shortcomings of the upflow anaerobic sludge blanket reactor in the chemical industry[J]. Water Science and Technology, 1997, 35(10): 183-188.

(责任编辑:黎贞崇 邓大玉)

(上接第 46 页)

年才塑造来的不可再生的人类旅游观赏资源。但是,广西的石林资源除少数已开发的保护较好外,大多数石林均处于无人问津状态,而且还有的石林还在开矿(铁),有的石林在采石材,使石林景观不同程度地受到损害,既不能产生社会效益,更无经济效益。广西的石林资源必须认真加以保护和合理开发。

(1)对已发现的石林,应邀请专家做好开发前的科学论证,先做好美学价值、区位、交通、环境、旅游网络、客源市场、功能等方面评价,后进行科学地规划,按规律办事,避免盲目开发,造成不必要损失。

(2)石林开发应充分发掘石林景观特色,包括石林内外,上下、左右,从多方面进行研究,全方位去思考,如主景、次景、衬景、自然的、人文的等均需要进一步研究,一定要注意每个石林开发内容要有所创新,具有新意。

(3)目前广西发现的石林仅是石林中的一部分,必须加强对石林进行进一步调查,立法管理和对石林资源促销工作。调查的目的是摸清资源家底,为石

林旅游可持续发展增添后劲;立法管理的重点在于保护,同时为有关领导及旅游部门对全广西旅游资源开发布局提供决策和参考;促销工作是实现旅游效益重要手段,故应充分利用当今现代化通讯工具,把广西石林宣传出去,在宣传同时,还可与其它的名人效应、奇特民俗及周围著名资源结合起来,既可以一家独唱,也可与相邻景点实现优势互补,奏出更多更美的旋律,迎来广西石林旅游的春天,为促进广西旅游资源的深层次开发,建设旅游强省发挥重要作用。

参考文献:

- [1] 袁道先. 岩溶学词典[M]. 北京:地质出版社,1988.
- [2] 昂智灵. 天下奇观数石林[M]. 昆明:云南民族出版社, 1992.
- [3] 傅中平. 广西珍奇[M]. 南宁:广西民族出版社,1997.
- [4] 老 谭. 巴渝山水名胜[M]. 重庆:重庆出版社,2003.

(责任编辑:邓大玉)