我国酒精废水治理技术的比较研究

车昱晓[1]　张毅敏*[2]　汪龙眠[3]　王　军[4]　张永栋[5]　吴　晗[6]

（1. 南京信息工程大学　江苏　南京　210044；
2. 环境保护部南京环境科学研究所　江苏　南京　210042；
3. 环境保护部南京环境科学研究所　江苏　南京　210042；
4. 山东农业大学　山东　泰安　271000；5. 上海海洋大学　上海　201306；
6. 常州大学　江苏　常州　213164）

摘　要　随着我国经济的飞速发展，乙醇作为一种重要的可再生的基础工业原料和能源，广泛应用于食品工业、化学工业、能源工业、日用化工和医药卫生等领域。由此排放的乙醇废水也在逐年增加，这不仅造成了环境的污染，更对我国水资源紧缺的形势提出了严峻的挑战，因此采取一定措施对乙醇废水进行治理显得十分必要。本文比较研究了三种酒精废水处理技术：EIC 处理技术、EGSB（膨胀颗粒污泥床）、UASB（升流式厌氧污泥床）的处理效果等，探索酒精废水的综合治理与资源回收利用新技术，并在此基础上提出展望。

关键词　酒精　有机废水　厌氧处理　好氧处理　氧化塘

1　前言

酒精又名乙醇，酒精工业是国民经济重要的基础原料产业，酒精广泛应用于化工、食品工业、日化、医药卫生等领域，同时又是酒基、浸提剂、溶剂、洗涤剂和表面活性剂[1]。我国酒精生产的原料比例为：淀粉质原料（玉米、薯干、木薯）占 75%，废糖蜜原料占 20%，合成酒精占 5%。由此，我国酒精生产的原料主要是玉米、薯干等淀粉质原料[2]。酒精企业酒精糟的污染是食品与发酵工业最严重的污染源之一，由于投资、生产规模、技术、管理等原因，大部分酒精企业的综合利用率较低[3]。

2　酒精废水治理的现状

随着社会经济的发展和人民生活水平的提高，对酒的需求量日益增大。酒类产品产量大，并且主要集中在几个省份[4]。随之而来的，酿酒工业排污量的增大，给我国的水环境造成十分严重的污染。酿酒工业废水是高浓度的有机废水，COD 浓度大，酸性高，含固量高，给治理工作带来较多的困难。

2.1　酒精废水产生背景

酒精是一种用途广泛的化工产品，也是一种清洁燃料。酒精的生产方法有发酵法和合成法。发酵法是以植物为原料，通过微生物发酵，经蒸馏制取酒精。制取酒精的原料可分为两大类。一类是含糖植物，如甘蔗、甜菜、或制糖厂的副产品糖蜜；另一类是含淀粉的植物，如玉米、薯干。玉米和薯干，在发酵时投加不同种类的微生物，可制取丙酮、丁酮和酒精等溶剂[5]。

我国是生产酒精大国，用液态发酵生产的白酒，其原料也是含淀粉的植物如玉米、高粱等，生产工艺类同制取酒精[6]。发酵法制取酒精和溶剂，虽然采用的原料和生产工艺有所不同，但在制取过程中都产生大量的糟液，糟液中含有高浓度的有机物。糟液很难直接利用，废弃的糟液对环境造成严重污染[7]。据统计，酒精工业每年排放的高浓度废水高达 $5*10^7$t，BOD 和 COD 的排放总量约占全国 BOD 和 COD 排放总量的八分之一，是我国排放污染物浓度最高、造成水体

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

污染最严重的第二大轻工业[8]。

2.2 酒精生产废水特点

酒精工业的污染以水的污染最为严重，生产过程中的废水主要来自蒸馏发酵成熟醪后排出的酒精糟，生产设备的洗涤水、冲洗水，以及蒸煮、糖化、发酵、蒸馏工艺的冷却水等[9]。

特点如下：①悬浮物含量高，平均悬浮物含量高达40000mg/L；②温度高，平均水温达70℃，蒸馏釜底排出的废水温度高达100℃；③浓度高，废水的COD高达2－3万，包括悬浮固体、溶解性COD和胶体，有机物占93%－94%，无机物占6%－7%，有机物的成分是碳水化合物，其次是含氮化合物，生物菌和未分解出去的产品：如丁醇、乙醇等，此外还有500mg/L的有机酸；④废水含有约500mg/L左右的有机酸，废水呈酸性，运行初期可考虑加碱或污泥的回流以平衡废水的酸碱度，运行稳定后系统具备足够的缓冲能力，则不需要加碱或回流；⑤无机物主要是来自原料中的灰尘和杂质[10－13]。

3 酒精废水处理技术

对于酒精废液的综合治理，国内外许多科研工作者已经进行了多年的研究，主要的处理技术有以下三种：EIC处理技术、EGSB（膨胀颗粒污泥床）、UASB（升流式厌氧污泥床）[14]。

3.1 EIC处理技术

（1）EIC工艺 EIC是在第二代厌氧反应器UASB技术基础上发展而来，可广泛用于养殖场废水、屠宰废水、酒业废水、发酵产品废水、食品加工废水、造纸废水及部分高浓度石化污水等有机废水的处理及其他可甲烷化的有机污水的处理[15]。

（2）EIC厌氧反应器处理酒精废水：有机废水的处理，通常采用好氧和厌氧生物处理方法。好氧处理动力大，处理成本高，而厌氧处理的动力消耗只是好氧的1/8。因此，尽量扩大厌氧处理的应用范围，先经厌氧处理，以减少好氧处理的负荷，这是有机废水处理技术的发展趋势[16]。酿酒废水的处理工艺，经历了从“二级好氧”到“水解－好氧”再到“厌氧－好氧”三个处理阶段，其中以最后一种处理工艺成本最低。处理效率高。EIC反应器的有机负荷是UASB的5倍，UASB处理啤酒废水的有机负荷为5～7kg/（m^3·d），而厌氧反应器的有机负荷达到了25kg/（m^3·d）[17－19]。如图1，EIC厌氧反应器工艺流程。

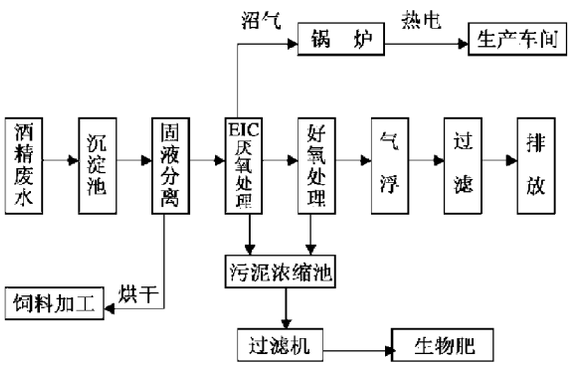


图1 EIC工艺流程

（3）EIC特点：EIC反应器造价低，占地面积小，可以处理高浓度、浓度较低（COD1000mg/L）和温度较低（温度＞20℃）的有机废水；操作简便可产业化，耐冲击负荷能力强，运行稳定，且用计算机操作，自动化程度高；但处理结果不稳定，有时仍不能达到排放标准[20]。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.2　EGSB（膨胀颗粒污泥床）处理技术

（1）EGSB（ExpandedGranularSludgeBed）工艺，中文名膨胀颗粒污泥床，是第三代厌氧反应器，于20世纪90年代初由荷兰Wageingen农业大学的Lettinga等人率先开发的[21]。分为进水配水系统、反应区、三相分离区和出水渠系统。与UASB反应器不同之处是，EGSB设有专门的出水回流系统。特点是具有很大的高径比，一般可达3～5，生产装置反应器的高度可达15～20米[22]。如图2，EGSB工艺处理酒精废水流程图。

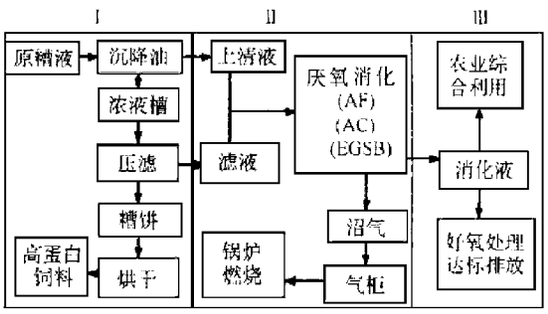


图2　EGSB工艺处理酒精废水流程图

（2）EGSB工艺特点：EGSB工艺具有高的液体表面上升流速和COD去除负荷，而且反应器抗冲击负荷能力强、占地面积小，可用于SS含量高的和对微生物有毒性的废水处理，更适合处理含有悬浮性固体和有毒物质的高浓度废水[23]。

3.3　UASB（升流式厌氧污泥床）处理技术

UASB（Up－flow Anaerobic Sludge Bed，注：以下简称UASB）工艺具有厌氧过滤及厌氧活性污泥法的双重特点，作为能够将污水中的污染物转化成再生清洁能源—沼气的一项技术[24]。

（1）UASB工作原理：由污泥反应区、气液固三相分离器（包括沉淀区）和气室三部分组成。在底部反应区内存留大量厌氧污泥，具有良好的沉淀性能和凝聚性能的污泥在下部形成污泥层。要处理的污水从厌氧污泥床底部流入与污泥层中污泥进行混合接触，污泥中的微生物分解污水中的有机物，把它转化为沼气。沼气以微小气泡形式不断放出，不断合并，逐渐形成较大的气泡，在污泥床上部由于沼气的搅动形成一个污泥浓度较稀薄的污泥和水一起上升进入三相分离器，沼气碰到分离器下部的反射板时，折向反射板的四周，然后穿过水层进入气室，集中在气室沼气，用导管导出，固液混合液经过反射进入三相分离器的沉淀区，污水中的污泥发生絮凝，颗粒逐渐增大，并在重力作用下沉降。沉淀至斜壁上的污泥沿着斜壁滑回厌氧反应区内，使反应区内积累大量的污泥，与污泥分离后的处理出水从沉淀区溢流堰上部溢出，然后排出污泥床[25]。如图3，UASB工艺流程图。

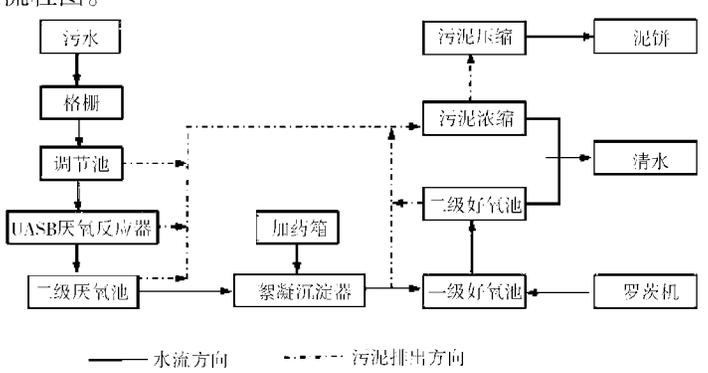


图3　UASB工艺流程图

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

（2）UASB 工艺的特点：内设三相分离器，通常不设沉淀池，通常可以不设污泥回流设备，所以污泥浓度高，平均污泥浓度为 20 – 40gVSS/1，且有机负荷高，水力停留时间短，采用中温发酵时，容积负荷一般为 10kgCOD/m^3. d 左右，污泥床不填载体，节省造价及避免因填料发生堵赛问题[26]；对水质和负荷突然变化较敏感，耐冲击力稍差，运行时进水中悬浮物需要适当控制，不宜过高，一般控制在 100mg/l 以下；污泥床内有短流现象，影响处理能力[27]。

3.5 三种技术的比较

当前应用比较广泛的三种处理技术：EIC 处理技术、EGSB（膨胀颗粒污泥床）和 UASB（升流式厌氧污泥床）都有各自的运行特点，比较如下：

技术名称	处理废水类型	投资成本	占地面积	运营管理	技术要求	处理效果
EIC 处理技术	高浓度、浓度较低和温度较低的有机废水；	运行成本地，反应器造价低；	小	操作简便，运行稳定，计算机操作，自动化程度高；	低	处理结果不稳定，有时仍不能达到排放标准[28]；
EGSB（膨胀颗粒污泥床）	低温污水、有毒废水、难降解有机废水以及硫酸盐废水等实际工业废水的治理；	成本较高，经济效益和社会效益显著[29]；	小	运行稳定，易于操作；	较低	效果良好，处理效率较高；
UASB（升流式厌氧污泥床）	高浓度有机废水；	建设成本低；反应器运行成本低；	较大	设备简单，运行方便，易于管理；	较高	COD 容积负荷高，处理效果好[30]；

4 酒精废水处理技术展望

现在酒精在人们的生活中的地位越来越重要，酒精行业的发展势必要找到一种更经济高效的技术处理酒精废水。在过去的十多年中，UASB 反应器在有机废水处理中发挥了重要的作用，而作为对 UASB 反应器改进的第三代反应器，如 EGSB 反应器，以较大的高径比，较高的容积负荷和较少水力停留时间等优势得到水处理行业的青睐。所以第三代反应器更具有市场竞争力，具有很高的推广价值和广阔的应用前景[31]。

我国在厌氧反应器方面的研究与世界先进水平相比仍有很大差距，目前虽有 EGSB 反应器在高浓度有机废水处理中的应用实例，但由于在布水系统和三相分离器设计上的相对落后，并不能取得令人满意的效果。所以在第三代厌氧技术迅速发展的今天，开发出具有自主知识产权的高效厌氧反应器、缩短与世界先进水平的差距对水处理工作者来说将是一个很大的挑战[32]。

因此探索技术成熟、效果更好、投资更少、风险性更小的酒精废水治理技术是生产企业和环保界任重而道远的课题。

参 考 文 献

[1] Kaparaju P, Serrano M, Angelidaki I. Optimization of biogas pro – duction from wheat straw stillage in UASB reactor [J]. Applied En – ergy, 2010, 87 (12): 3779 – 3783.

[2] Thanikal J V, Torrijos M, Habouzit E, et al. Treatment of distillery vinasse in a high rate anaerobic reactor using low density polyethy – lene supports [J]. Water Science and Technology, 2009, 56 (2): 17 – 24.

[3] 任振杰，陈志莉，王文标，等. 低温厌氧生物处理生活污水研究进展 [J]. 水处理技术，2011，37 (10)：

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4－7.
[4] 王延才．中国酿酒工业协会白酒分会2006年工作报告［J］．酿酒科技，2007，5：132－138.
[5] Christodoulou，F. et al. Ancient animal microRNAs and the evolution of tissue identity. Nature 463，2010，1084－1088.
[6] 詹仁斌，陈朋飞．湖北宜昌陈家河下，中奥陶统大湾组腕足动物多样性演变．古生物学报2006，45，21－31.
[7] 张志飞，舒德干．早寒武世腕足动物的形态解剖及其进化．中国科技论文在线精品论文.2008，1，25－41.
[8] Santal A R，Singh N P，Saharan B S. Biodegradation and detoxifica－tion of melanoidin from distillery effluent using anaerobic bacterialstrain SAG5 of Alcaligenes faecalis［J］. Journal of Hazardous Mate－rials，2011，193：319－324.
[9] Strong P J，Burgess J E. Bioremediation of a wine distillery waste－water using white rot fungi and the subsequent production of lac－case［J］. Water Science and Technology，2007，56（2）：179－186.
[10] Potentini M F，Rodriguez－Malaver A J. Vinasse biodegradation by Phanerochaete Chrysosporium［J］. Journal of Environmental Biolo－gy，2006，27（4）：661－665.
[11] Sheli C，Moletta R. Anaerobic treatment of vinasses by a sequential－ly mixed moving bed biofilm reactor［J］. Water Science & Technolo－gy，2007，56（2）：1－7.
[12] Yu H，Zhao Q，Tang Y. Anaerobic treatment of winery wastewater using laboratory－scale multi－and single－fed filters at ambient tem－peratures［J］. Process Biochemistry，2006，41（12）：2477－2481.
[13] Farhadian M，Borghei M，Umrania V V. Treatment of beet sugar wastewater by UAFB bioprocess［J］. Bioresource Technology，2007，98（16）：3080－3083.
[14] Sowmeyan R，Swaminathan G. Performance of inverse anaerobicfluidized bed reactor for treating high strength organic wastewater.
[15] Hejnol，A. & Martindale，M. Q. Acoel development indicates the independent evolution of the bilaterian mouth and anus. Nature 456，2010，382－386.
[16] Philippe，H. et al. Acoelomorph flatworms are deuterostomes related to Xenoturbella. Nature 470，2011，255－258.
[17] 周小波，蔡迎晨，杨健．酒精废水Fenton试剂催化氧化法试验研究［J］．青岛理工大学学报，2006，28（1）：65－67.
[18] 陈丽春．酒精生产高浓度有机废水处理途径研究［J］．环境科学与管理，2007，32（2）：85－87.
[19] 陈红兰，谢素雯．酿造废水深度技术的应用研究［J］．江西化工，2006，3：35－37.
[20] 王立媛，宿程远，李思敏，等．厌氧折流板反应器处理制糖废水的启动试验研究［J］．工业水处理，2012，32（1）：36－39.
[21] 马永鹏，何争光，宋宏杰，等不同曝气方式对M一cass处理酒精废水的影响［J］．水处理技术，2010，36（9）110－113.
[22] 周敬红，兰雯，叶凡等．上流式多级厌氧反应器处理糖蜜酒精废水的运行特性［J］环境工程，2009，27（1）：37－39）.
[23] 齐京燕．厌氧氨氧化反应器研究进展［J］．应用于环境生物学报，2007，13（5）：748－752.
[24] 黄开，于春洲，常来军．多级A/O工艺在国内的应用现状［J］．环境科学与管理，2007，32（2）：73－76.
[25] 陈渊，杨家添，刘国聪，等水热法制备$BiVo_4$及其可见光催化降解糖蜜酒精废水［J］环境科学学报，2011，31（5）：971－978
[26] 李胜超，刘明华，潘正现．新型酒精废液浓缩燃烧处理技术［J］．环境工程，2006，24（6）：90－91，94.
[27] 孙巍，许玫英，孙国萍毛云芝菌利用糖蜜酒精废水产漆酶培养基优化田微生物学通报，2011，38（4）：516－522.
[28] 陈前林，王显龙，吴建青．纳米TiO_2对酿酒工业废水的降解作用［J］．酿酒科技，2006，3：21－23.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[29] 王炜，陈坚，尹艳军，等. 两级 UASB－CAAS 技术处理酒精废液［J］. 酿酒科技，2006，10：101－103.

[30] Turkdogan Aydlnol F Ilter} Yetilmezsoy Kaan. A fuzzy－logic；ased model to predict biogas and methane production rates in a pilot－scale mesophilic；UASB reactor treating molasses wastewater［J］. Journal of Hazardous Materials 2010，182（1－3）：460－471.

[31] Rizzo Liugi. Bioassays as a tool for evaluating advanced oxidation processes in water and wastewater treatment.［J］ Wtiter Research . 2011，45（15）：4311－4340.

[31] Liang Zhen} Wang Yanxin} Zhou Yu} et al. Stoc；hiometric relationship in the coagulation of melanoidins dominated molasses wastewater［J］. Desalination，2010，250：42－48.

[32] Dwyer Jason Griffiths Peter Lant Paul. Simultaneous colour and DON removal from sewage treatment plant elfluent：Alum coagulation of melanoidin［J］. Water Research，2009，43（2）：553－561.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net