

THE THEORY AND IMPLEMENTATION OF UASB REACTOR CONCEPT IN CHINA

UASB 工艺的理论 与 工程实践

王凯军 左剑恶 甘海南 贾立敏 等著

Edited by Wang Kaijun Zuo Jiane Gan Hainan and Jia Limin



中国环境科学出版社

China Environmental Science Press

THE THEORY AND IMPLEMENTATION OF UASB REACTOR CONCEPT IN CHINA

UASB 工艺的理论 与工程实践

王立敏 左剑恶 甘海南 贾立敏 等著

Edited by Wang Limin, Zuo Jiane, Gan Hainan and Jia Limin



中国环境科学出版社 北京

China Environmental Science Press Beijing

图书在版编目 (CIP) 数据

UASB 工艺的理论与工程实践/王凯军等著. —北京:
中国环境科学出版社, 2000.9
ISBN 7-80163-020-3

I. U… II. 王… III. 酿酒工业—酿造工业—食品
工业—厌氧废水处理技术 IV. X797

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 71418 号

中国环境科学出版社出版
(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)
北京市联华印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2000 年 12 月 第 一 版	开本 787 × 1092 1/16
2000 年 12 月 第一次印刷	印张 16 ½ 插页 8
印数 1—3000	字数 385 千字

定价: 48.00 元

前 言

厌氧废水处理技术是近年来污水处理领域发展较快的领域，也是实现“一控双达标”的重要技术，是消减有机污染物、降低运行成本的有效途径，特别是厌氧上流式污泥床（UASB）技术在国内外已经发展成为厌氧处理的主流技术之一。我国从 80 年代初开发和引进 UASB 处理技术后，在国家“七五”、“八五”和“九五”几个五年计划期间持续攻关，在高浓度有机废水厌氧处理技术的进展方面进行了大量的开发研究：“七五”期间针对高浓高废水的特点以啤酒，酿造行业进行了攻关研究；“八五”期间在小试和中试研究的基础上，建立了一些示范工程。据不完全统计到目前为止在全国范围内，已经建立了 300~500 个不同类型工艺的厌氧处理工程。

在此期间国际上厌氧处理技术也在迅速发展，如果将采用颗粒污泥为代表的 UASB 反应器作为第二代高效厌氧反应器。并在此基础上向第三代厌氧反应器发展，其中有代表性的是厌氧颗粒污泥膨胀床反应器（EGSB）。在欧洲的 UASB 工艺已普遍形成了颗粒污泥，这使得厌氧 UASB 工艺在欧洲迅速得到了推广和普及使得传统厌氧工艺的处理时间从几十天缩短为一天到几天。有机负荷从几公斤提高到十几到几十公斤，反应效率提高了几十倍乃至上百倍。UASB 技术目前已向美国和世界其它地区辐射，其中也有一些通过不同渠道进入了我国。

比较我国厌氧处理工艺开发的现状和国外水平的差距，目前我们还不能很好地将第二代厌氧反应器推广到生产实践中，从 UASB 的技术上来讲，还无法在大规模的生产装置上形成稳定的颗粒污泥，因此就无法谈到第三代厌氧反应器的应用。从设备上讲我国的 UASB 技术的设备配套性较差，在 UASB 反应器产业化上也有较大差距。解决这一问题的方法是在 UASB 的设备化方面多下功夫，国家“九五”攻关课题为此专门设置专题进行研究和开发。目的使 UASB 的设计标准化、规范化和简单化，使得运转人员和设计人员将精力放在反应器的运行技术问题上，而不是设备等其他问题，作者们参加了这一攻关课题。

本书重点介绍了国家“九五”攻关期间，作者在 UASB 反应器及其配套设备的设备化和工程应用上的探索和实践。首先通过 UASB 反应器的原理分析，将 UASB 反应器分解为四个组成部分：反应器的池体、三相分离器（GLS）、配水系统和沼气收集和利用系统，从而将 UASB 的产业化问题化解为各个组成部分的设备化问题。

在 UASB 反应器的池体结构方面，结合三相分离器的形式，对矩形的混凝土结构的

UASB 反应器的标准化和系列化的工作进行了介绍。对于圆形反应器将重点介绍反应器材料的开发,对两种不同具有防腐功能的材料的反应器进行了介绍;UASB 反应器三相分离器的涉及到反应器的放大和产品化问题。通过对国内外模块式和组合式等的三相分离器的应用的型式、材质,在工程应用的基础上对高密度聚乙烯、碳钢、不锈钢、玻璃钢和搪瓷钢板等多种材质的三相分离器进行了分析对比。

在工程实践和理论的基础上,提出了 UASB 工艺的设计指南,对各种预处理设施和手段,如粗格栅、细格栅(或水力筛)、泵房、调节(酸化)池、营养盐和 pH 调控系统等、类别、设计参数、运行方式、适宜范围、注意事项等首先进行了说明;其次,对 UASB 反应器的设计计算方法,内容包括体积计算、池型选择、几何尺寸确定、反应器的升流速度、单元反应器最大体积和分格化的反应器等问题进行了详细介绍。总结了国内外不同种类的废水的工程实例,可以作为 UASB 反应器的设计负荷参考取值范围;最后,对 UASB 反应器系统的监测与控制,从环境影响因素、工艺控制条件、UASB 反应器的监控等几个方面论述了 UASB 反应器系统稳定运行所需考虑的诸多因子。

另外,我国在“六五”、“七五”、“八五”期间建立了相当多的工程,对不同废水进行过大量研究。这些工作是我国在厌氧废水处理领域的宝贵财富,应该对此进行系统的总结。本书对于 UASB 技术在不同行业废水处理上,如啤酒、柠檬酸、淀粉、酒精和化工等废水的应用问题进行介绍。同时对我国的厌氧处理(UASB)的工程实例做了详细的介绍。实例概括了 UASB 反应器在啤酒、淀粉、制药、化工、酒精和柠檬酸等行业废水的应用情况,较为全面的反映我国在 UASB 反应器的整体水平。

本书的编写过程中,柯建明、曹从荣、常丽春、朱溱、宋英豪、林秀军等同志对本书的编写给予了很大帮助,在此表示感谢。由于本书涉及到厌氧工艺中很多新工艺、新材料和新设备,而作者水平有限,书中不妥或错误之处,敬请批评指正。

作者

2000 年 8 月 31 日

Preface

The anaerobic treatment technology is one of the most rapidly developing fields of wastewater treatment. It is an economical effective treatment process for both pollutant removal and reduction of operation cost, especially Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor, which has become mainstream technology of anaerobic treatment. UASB process has been introduced and developed in China since 80's of 20 century. During past several Five – year Program, National Environmental Protection Agency and National Scientific and Technology Committee have put UASB technology on National key project. The great efforts have been made for process development and demonstration project research by the research Institutes and Universities. According to incomplete statistics, there are about 300 to 500 sets of anaerobic reactors, which treat various industrial wastewater in China.

At the same time, anaerobic technology has been rapidly developed at abroad. If it is considered that granular sludge UASB is a representative of the second-generation reactor, now the third-generation anaerobic technology has already been developed, such as anaerobic granular sludge expanded bed (EGSB) reactor. All over Europe, granular sludge has grown in UASB reactor and UASB process has been rapidly implemented and popularized. The reaction time of anaerobic treatment was shorten from several ten days to several days, even to one day. The organic load rate has risen from less than $3.0 \text{ kg COD} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ to more than $10 \text{ kg COD} / (\text{m}^3 \cdot \text{d})$ or even higher. The reaction rate has been raised ten to hundreds times. UASB technique has been spread from Europe to American and other place of the world. The high rate anaerobic system has already been introduced into China.

Firstly, because of the technical gap of the level of anaerobic process between China and foreign countries, we still can not well put the second – generation of anaerobic reactor into practice. The stable granulation in large reactor or in wide range has not been realized yet in China. If no granular sludge is produced, there is no material base for the application of third – generation anaerobic reactor. Then the quality and industrialization of UASB reactor are weaknesses of our products. In order to solve the former problems, the National key project of new five – year program has put emphasis on UASB equipment research and production. The aims of projects are to make design normal, systemic and simple. More attention of the operators and designers will be paid to for the operation problems other than equipment problems. Authors have undertaken this project.

In this book, authors' exploration and practice of industrialization of the equipment of UASB reactor and great effect of implementation of UASB process on full scale have been emphatically introduced. The UASB reactor can be divided into four main parts, i.e., the body of reactor, three – phase separator, influent distribution system and gas collection and utilization system. The industrialization of UASB reactor in fact is the industrialization of the parts of UASB reactor mentioned above.

Because the body of reactor must incorporate the different type of three – phase separator, the standardization and systemization of rectangle type of reactor has been described. The emphasis is put on two kinds of new materials to make round reactor, which relates to the new material and new construction method development. The three – phase separator relates to the scale – up and product of three – phase separator. The different type of three-phase separator (such as module and resemble type) and materials (such as stainless steel, enforced glass – fiber, high density PVC and coated carbon steel) have been tested and evaluated.

Based on theory study and application experience of UASB, the design guardline of UASB process has been proposed. The functions, types, design parameters, operation mode, range of application of pre-treatment system which includes roars and fine bar machine (or hydrau-sreen), lifting pump station, conditioning (or acidification) tank, nutrients and pH adjustment are shown firstly.

Secondly, the design procedure of UASB which includes detail parts of the reactor, such as volume and dimension calculation, decision of various upflow velocities, maximum volume of single reactor and compartment of reactor, has been introduced. The large member of engineering cases for various industrial wastewater at home and abroad have been summarized, of which the design data are useful references for designer.

Last but not least, the monitoring and control of UASB system, the factors which might affect the stablity of UASB system, such as environmental factor, process control factor and monitoring and control, have been discussed.

In addition, during the past decades, hundreds of projects have been erected in China. The experiences in the area of anaerobic treatment, which is rich property, should be carefully analyzed and summarized. In this work, the applications of UASB process in various industrial wastewater, such as brewery, distillery, starch and pert – chemical processing have been introduced. The case study of above wastewater has been described in details, which has represented the level of our country in implementation of UASB technology.

We gratefully acknowledge the technology support of the following individuals Mr.Ke Jianming, Ms.Cao Congrong, Ms.Chang Lichun, Mr.Zhu Zhen, Dr.Song Yinghao and Mr.Lin Xiu-jun.Appreciation will extend to all the staff of our national key project group. All improper evaluation and mistakes will be in the charge of the authors.

Authors

2000/8/31

目 录

第一章 UASB 反应器的原理与应用	1
第一节 厌氧工艺的类型和发展	1
第二节 UASB 反应器的原理	8
第三节 水处理产业和设备化	12
第四节 厌氧工艺的应用和市场分析	16
第二章 UASB 反应器	21
第一节 UASB 反应器的主要设备	21
第二节 三相分离器的设备化	30
第三节 布水的设备	42
第四节 附属系统	48
第三章 UASB 反应器在啤酒工业废水处理中的应用	52
第一节 啤酒工业废水	52
第二节 厌氧—好氧联合处理技术	57
第三节 厌氧处理工艺在我国的应用	61
第四节 不同处理系统的技术经济分析	66
第五节 不同 UASB 系统的对比分析	70
第四章 UASB 反应器在酒精废水处理中的应用	77
第一节 酒精废水厌氧处理的问题	77
第二节 酒精工业发展概况	79
第三节 酒精糟液预处理（固液分离）技术和设备	82
第四节 酒糟废液厌氧生物处理工艺	85
第五节 厌氧—好氧工艺处理酒糟废液的技术经济对比	87
第六节 颗粒污泥 UASB 反应器处理薯干酒精糟液	98

第七节	预处理采用带式脱水机的示范工程	106
第八节	采用能处理高浓度 SS 的多级厌氧工艺	109
第五章	UASB 反应器在精对苯二甲酸 (PTA) 工业废水中的应用	114
第一节	精对苯二甲酸 (PTA) 工业废水厌氧处理的问题	114
第二节	精对苯二甲酸 (PTA) 生产工艺与废水来源	116
第三节	PTA 厌氧可生物降解性能实验	121
第四节	UASB 反应器与厌氧滤池的对比研究	127
第五节	生产性装置	132
第六章	UASB 处理技术在淀粉和柠檬酸工业废水中的应用	142
第一节	淀粉、柠檬酸生产工艺和废水的产生	143
第二节	新型反应器材料的应用	147
第三节	淀粉废水 UASB 反应器的应用和进一步开发问题	151
第四节	建立颗粒污泥生产基地, 开发颗粒污泥膨胀床 (EGSB) 反应器	155
第五节	UASB 反应器处理柠檬酸工业废水	159
第七章	UASB 反应器应用中有关理论问题的探讨	166
第一节	UASB 反应器的启动和颗粒污泥培养	166
第二节	UASB 反应器中的酸碱平衡及 pH 值的控制	175
第三节	硫酸盐、硫化氢对 UASB 反应器运行的影响及控制技术	179
第四节	UASB 反应器系统的监测与控制	194
第八章	UASB 反应器的设计指南	197
第一节	预处理设施	197
第二节	UASB 反应器的设计计算	200
第三节	各种类型废水设计参数	203
第四节	反应器的详细设计	207
第九章	UASB 工艺示范工程	214
第一节	沂水玉米制品有限公司淀粉厂	214
第二节	安徽泗县酒精厂	218
第三节	河北冀东制药厂	223
第四节	连云港市发酵厂	228
第五节	诸城兴贸玉米开发有限公司成武分公司淀粉厂	233
第六节	南京扬子 PTA 废水处理工程	237
第七节	中策啤酒厂废水处理工程	244
参考文献		249

Content

Chapter 1 The Principal and Application of UASB Reactor	1
1. The Development of Various Types of Anaerobic process	1
2. The Principal of UASB Reactor	8
3. Water Treatment Industriy and Equipmentalization	12
4. The Application and Market Analysis of Anaerobic Treatment Process	16
Chapter 2 The Equipment of UASB Reactor	21
1. The Main Equipment of UASB Reactor	21
2. Three Phase Separator	30
3. Influent Distribution System	42
4. The Subset of the Process	48
Chapter 3 The Application of UASB Process in Brewery Wastewater Treatment	52
1. Brewery Processing Wastewater	52
2. Anaerobic-Aerobic Combine Process	57
3. The Application of Anaerobic Process in China	61
4. The Technical and Economic Analysis for Various Processes	66
5. The Comparison of Various type of UASB Systems	70
Chapter 4 The Application of UASB Process in Distillery Wastewater Treatment	77
1. The Problems of Anaerobic Treatment of Distillery Wastewater	77
2. The Development of Distillery Industriay	79
3. The Pre-treatment Technique and Equipment (Solid-Liquid Separation) of Distillery Wastewater	82
4. Anaerobic Treatment Process in Distillery Wastewater	85
5. The Economic Comparison of Anaerobic-Aerobic Process for Distillery Wastewater	87

6. Using Granular UASB Reactor for Distillery Wastewater Treatment	98
7. The Demonstration Project of adoption Belt Dewatering Machine for Solid-Liquid Separation as Pre-treatment	106
8. Multi-stage Anaerobic Treatment Process for Distillery Wastewater Treatment	109
Chapter 5 The Application of UASB Process in Petro-Chemical (PTA)	
Wastewater	114
1. The problems of Anaerobic Treatment of Pure Terephthalic Acid (PTA) Industrial Wastewater	114
2. Pure Terephthalic Acid (PTA) Processing and Quality and Quantity of Wastewater	116
3. Anaerobic Biodegradability of PTA Wastewater	121
4. The Comparison Experiments of UASB and Anaerobic Filter	127
5. Design and Operation of Full Scale PTA Wastewater Treatment Plant	132
Chapter 6 The Application of UASB Process in Starch Processing and citric Acid Wastewater	142
1. Introduction	143
2. The Application of New Type Materials for UASB Reactor	147
3. The Implementation and Further Development of UASB Reactor of Starch Wastewater ..	151
4. The Establishment of Granular Sludge Production Base and Development of Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) Reactor	155
5. The Citric Acid Wastewater Treatment with UASB Reactor	159
Chapter 7 Relevant Theory Concerning the Operation of UASB Process	166
1. The Start-up of UASB Reactor and Culture of Granular Sludge	166
2. The Balance of Acid and Alkalinity System and pH Control in UASB Reactor	175
3. The Impact and Control Measurement of Sulphate and Sulphite on the Performance of UASB Reactor	179
4. The Monitoring and Control of UASB System	194
Chapter 8 Design Guideline of UASB Reactor	197
1. The Pre-treatment System	197
2. The Design Calculation of UASB Reactor	200
3. The Design Parameters for Various Wastewater	203
4. The detailed Design of UASB Reactor	207
Chapter 9 The Demonstration Projects of UASB Process	214
1. The Project of Starch Mill of Yishui Corn Products Limited Company, Shandong	

Province	214
2.The Project of Distillery Factory of Sixian County, Anhui Province	218
3.The Project of Jidong Pharmsutical Factory, Hebei Province	223
4.The Project of Lianyuangang Fermentation Factory, Jiangsu Province	228
5. The Project of Starch Mill of Zhucheng Xinmao Corn Development Limited Company, Shandong Province	233
6.The Project of NanJing Yangzi PTA Wastewater Treatment, Jiangsu Province	237
7. The Project of Zhongche Berwery Factory Wastewater Treatment, Hangzhou, Zhejiang Province	244

第一章 UASB 反应器的原理与应用

第一节 厌氧工艺的类型和发展

一、厌氧工艺的发展

早期的厌氧消化工艺可以称为第一代厌氧消化工艺，以厌氧消化池为代表(图 1-1)，属于低负荷系统。早期的低负荷厌氧系统使人们认为厌氧系统的运行结果不理想是本质上不及好氧系统，不幸的是这种观点一直延续至今。

由于厌氧微生物生长缓慢，世代时间长，故保持足够长的停留时间是厌氧消化工艺成功的关键条件。正是随着对厌氧发酵过程认识不断提高，人们认识到反应器内保持大量的微生物和尽可能长的污泥龄是提高反应效率和反应器成败的关键。McKiney 和 Eck-enfelder 等人在好氧及厌氧污水处理数学模型方面进行的研究，从理论上阐明了将污泥龄做为生物处理设计与运行参数的重要性。事实上，一个设计合理的厌氧处理系统可以在停留时间非常短和负荷比好氧处理高的条件下，获得较高的可生物降解有机物的去除效果。

Schroppter 仿照好氧活性污泥法，开发了厌氧接触工艺(图 1-2)；增加微生物与废水的固液分离与回流，从而可提高消化池的污泥龄，与普通消化池相比，它的水力停留时间可大大缩短。

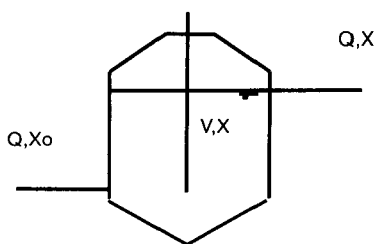


图 1-1 污泥传统厌氧消化池示意图

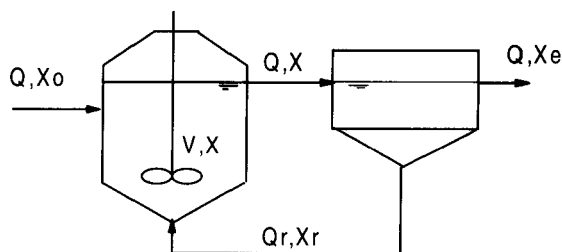


图 1-2 传统厌氧接触工艺示意图

高速率厌氧处理系统必须满足的原则是：①能够保持大量的厌氧活性污泥和足够长

的污泥龄；②保持废水和污泥之间的充分接触。为了满足第一条原则，可以采用固定化（生物膜）或培养沉淀性能良好的厌氧污泥（颗粒污泥）的方式来保持厌氧污泥。从而在采用高的有机和水力负荷时不发生严重的厌氧活性污泥流失。依照第一条原则，在 20 世纪 70 年代末期人们成功地开发了各种新型的厌氧工艺，例如，厌氧滤池（AF）、上流式厌氧污泥床反应器（UASB）、厌氧接触膜膨胀床反应器（AAFEB）和厌氧流化床（FB）等。这些反应器的一个共同的特点是可以将固体停留时间与水力停留时间相分离，固体停留时间可以长达上百天。这使得厌氧处理高浓度污水的停留时间从过去的几天或几十天可以缩短到几小时或几天。这一系列厌氧反应器被称为第二代厌氧反应器。

高效厌氧处理系统需要满足的第二个条件是获得进水和被保持污泥之间的良好接触。为了在厌氧反应器内满足这一条件，应该确保反应器布水的均匀性，这样才可最大程度地避免短流。这一问题无疑涉及到布水系统的设计，在此不作赘述。从另一方面讲，厌氧反应器的混合来源于进水的混合和产气的扰动。但是对于进水在无法采用高的水力和有机负荷的情况下（例如在低温条件下采用低负荷工艺时，由于在污泥床内的混合强度太低，以致无法抵销短流效应）UASB 反应器的应用负荷和产气率受到限制；为获得高的搅拌强度，必须采用高的反应器或采用出水回流，获得高的上升流速。正是对于这一问题的研究导致了第三代厌氧反应器的开发和应用。

二、厌氧反应器的分类

目前所用的厌氧反应器主要分为以下几种类型，即：

（1）第一代厌氧消化工艺

- ①普通厌氧消化池；
- ②厌氧接触工艺。

（2）第二代厌氧消化工艺

- ③上流式厌氧污泥床（UASB）反应器；
- ④厌氧滤床；
- ⑤厌氧流化床反应器；
- ⑥厌氧生物转盘；
- ⑦其它，如厌氧混合反应器和厌氧折流反应器。

（3）第三代厌氧反应器和其他改进工艺

- ⑧厌氧颗粒污泥膨胀床（EGSB）反应器；
- ⑨厌氧复合床反应器（AF + UASB）；
- ⑩水解工艺和两阶段厌氧消化（水解 + EGSB）工艺。

1. 厌氧消化池

厌氧消化池的形式见图 1-1，污水或污泥定期或连续加入消化池，经消化的污泥和污水分别从消化池底部和上部排出，所产的沼气从顶部排出。在进行中温和高温发酵时，常需加热发酵料液。一般采用在池外设热交换器方法间接加热或采用蒸汽直接加

热。普通消化池的特点是在一个池内实现厌氧发酵反应过程和液体与污泥的分离过程。通常是间断进料，也有采用连续进料方式的。为了使进料和厌氧污泥密切接触而设有搅拌装置，一般情况下每隔 2~4h 搅拌一次。在排放消化液时，通常停止搅拌，待沉淀分离后从上部排出上清液。目前，消化工艺被广泛地应用于城市污水、污泥的处理上。

2. 厌氧接触反应器

厌氧接触工艺(图 1-2)的反应器是完全混合的，排出的混合液首先在沉淀池中进行固液分离，可以采用沉淀池或气浮处置。污水由沉淀池上部排出，沉淀下的污泥回流至消化池；这样做既保证污泥不会流失，又可提高消化池内的污泥浓度；从而在一定程度上提高了设备的有机负荷率和处理效率。与普通消化池相比，它的水力停留时间可以大大缩短。厌氧接触工艺在我国已成功地应用于酒精糟液的处理上。

3. 厌氧滤池

厌氧滤池(AF)是在 Coulter 等人(1955)工作的基础上由 Young 和 McCarty 于 1969 年重新开发的。厌氧滤池是在反应器内充填有各种类型的固体填料，如卵石、炉渣、瓷环、塑料等来处理有机废水。废水向上流动通过反应器的厌氧滤池称为升流式厌氧滤池；当有机物的浓度和性质适宜时采用的有机负荷 COD 可高达 $10 \sim 20 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。另外还有下流式厌氧滤池。污水在流动过程中生长并保持与厌氧细菌的填料相接触；因为细菌生长在填料上，不随水流流失。在短的水力停留时间下可取得长的污泥龄，平均细胞停留时间可以长达 100 天以上。厌氧滤池的缺点是载体相当昂贵，据估计载体的价格与构筑物建筑价格相当。其另一个缺点是如采用的填料不当，在污水中悬浮物较多的情况下，容易发生短路和堵塞，这是 AF 工艺不能迅速推广的原因。

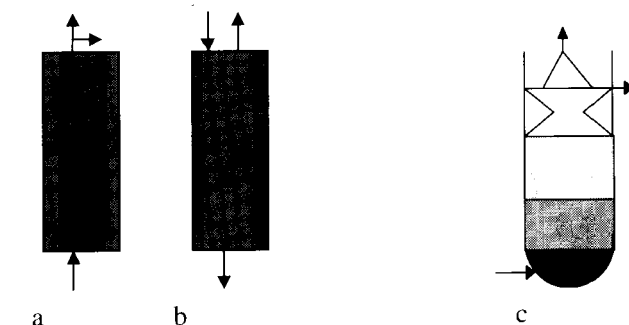


图 1-3 上流式和下流式厌氧滤池和升流式厌氧污泥床反应器

4. 升流式厌氧污泥床反应器

升流式厌氧污泥床(UASB)反应器是由 Lettinga 在 20 世纪 70 年代开发的。待处理的废水被引入 UASB 反应器的底部，向上流过由絮状或颗粒状污泥组成的污泥床(图 1-3)。随着污水与污泥相接触而发生厌氧反应，产生沼气(主要是甲烷和二氧化碳)引起污泥床扰动。在污泥床产生的气体中有一部分附着在污泥颗粒上，自由气泡和附着在污泥颗粒上的气泡上升至反应器的顶部。污泥颗粒上升撞击到脱气挡板的底部，这引起附

着的气泡释放；脱气的污泥颗粒沉淀回到污泥层的表面。自由气体和从污泥颗粒释放的气体被收集在反应器顶部的集气室内。液体中包含一些剩余的固体物和生物颗粒进入到沉淀室内，剩余固体和生物颗粒从液体中分离并通过反射板落回到污泥层的上面。

5. 流化床和膨胀床系统

流化床(FB)系统由 Jeris 在 1982 年开发，厌氧流化床是一种具有很大的比表面积的情性载体颗粒的反应器，厌氧微生物在其上附着生长。它的一部分出水回流，使载体颗粒在整个反应器内处于流化状态(图 1-4)。最初采用的颗粒载体是沙子，但随后采用低密度载体如无烟煤和塑料物质以减少所需的液体上升流速，从而减少提升费用。由于流化床使用了比表面积很大的填料，使得厌氧微生物浓度增加。根据流速大小和颗粒膨胀程度可分成膨胀床和流化床，流化床一般按 20% ~ 40% 的膨胀率运行。膨胀床运行流速应控制在比初始流化速度略高的水平，相应的膨胀率为 5% ~ 20%。固定膜膨胀床(AAFEB)反应器床仅膨胀 10% ~ 20% (Jewell, 1982)。由于载体重量较大，为便于介质颗粒流化和膨胀需要大量的回流，这增加了运行过程的能耗；并且其三相分离特别是固液分离比较困难，要求较高的运行和设计水平，所以实际应用较少。

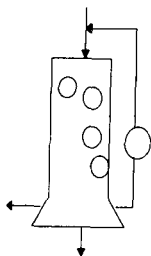


图 1-4 厌氧流化床反应器

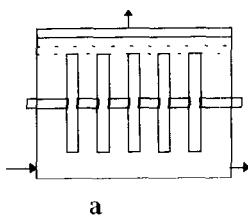
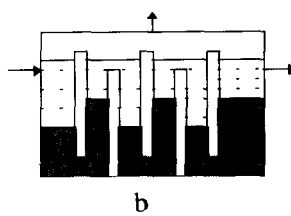


图 1-5 厌氧生物转盘和厌氧折流反应器



6. 厌氧生物转盘反应器

厌氧生物转盘是与好氧生物转盘相类似的装置。在这种反应器中，微生物附着在情性(塑料)介质上，介质可部分地或全部浸没在废水中(图 1-5a)。介质在废水中转动时，可适当限制生物膜的厚度。剩余污泥和处理后的水从反应器排除。

7. 厌氧折流反应器

折流反应器结构如图 1-5b 所示。由于折板的阻隔使污水上下折流穿过污泥层，造成了反应器推流的性质，并且每一单元相当于一个单独的反应器，各单元中微生物种群分布不同，可以取得好的处理效果。

8. 厌氧颗粒污泥膨胀床(EGSB)反应器

荷兰 Wageningen 农业大学进行了关于厌氧颗粒污泥膨胀床(EGSB)反应器的研究。EGSB 反应器实际上是(改进的)UASB 反应器,其运行在高的上升流速下使颗粒污泥处于悬浮状态，从而保持了进水与污泥颗粒的充分接触。EGSB 反应器的特点是颗粒污泥床

通过采用高的上升流速（与小于 $1 \sim 2\text{m/h}$ 的 UASB 反应器相比）即 $6 \sim 12\text{m/h}$ ，运行在膨胀状态。EGSB 特别适于低温和低浓度污水。当沼气产率低、混合强度低时，在此条件下较高的进水动能和颗粒污泥床的膨胀高度将获得比“通常的”UASB 反应器好的运行结果。EGSB 反应器由于采用高的上升流速因而不适于颗粒有机物的去除。进水悬浮固体“流过”颗粒污泥床并随出水离开反应器，胶体物质被污泥絮体吸附而部分去除。下面是两种不同类型的 EGSB 反应器：

a. 厌氧内循环反应器(IC) IC 工艺是基于 UASB 反应器颗粒化和三相分离器的概念而改进的新型反应器，属于 EGSB 的一种。厌氧内循环反应器(IC)可以看成是由两个 UASB 反应器的单元相互重叠而成。它的特点是在一个高的反应器内将沼气的分离分两个阶段。底部一个处于极端的高负荷，上部一个处于低负荷。

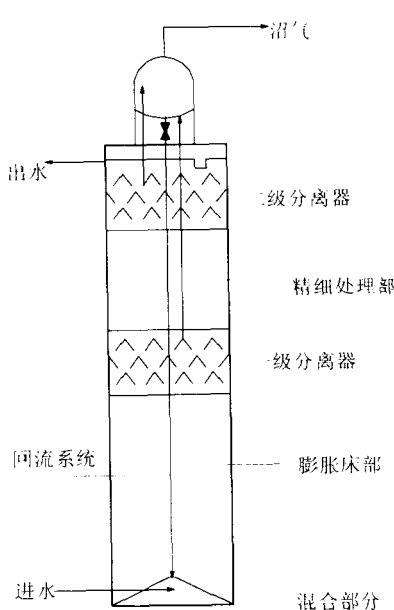


图 1-6 厌氧内循环(IC)反应器示意图

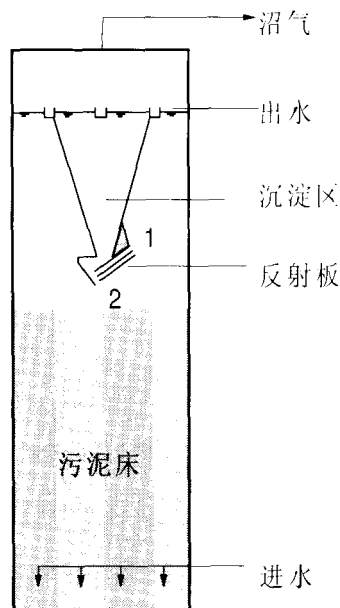


图 1-7 Biobed 厌氧反应器示意图

b. 厌氧升流式流化床工艺(UFB BIOBED) 厌氧升流式流化床工艺是由美荷 Biothane 系统国际公司所开发的一种新型反应器。其起源于 Biothane 公司的厌氧流化床，在其设计的生产性流化床装置上，由于强烈的水力和气体剪切作用，形成载体的生物膜脱落十分厉害，无法保持生物膜的生长。相反地，在运行过程中形成了厌氧颗粒污泥，因此在实际运行中将厌氧流化床转变为 EGSB 运行形式；UFB 是其商品名称，在文献上有时该公司也称其为 EGSB 反应器；这从另一方面给出了厌氧流化床不成功的例子，因此它是 EGSB 反应器的一种。它可以在极高的水、气上升流速（两者都可达到 $5 \sim 7\text{m/h}$ ）下产生和保持颗粒污泥，所以不需采用载体物质。由于高的液体和气体的上升流速造成了进水和污泥之间的良好混合状态，因此系统可以采用 $\text{COD} 15 \sim 30\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的高负荷。