



Decentralized Domestic Wastewater
Treatment Technology

分散型生活污水 处理技术研究

朱静平 蒋 卉 王 彬 著



科学出版社

分散型生活污水处理技术研究

朱静平 蒋 卉 王 彬 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以分散型生活污水为处理对象，主要研究内容包括：采用厌氧折流板反应器（ABR）、ABR+PFB（小型植物滤床）组合系统、A²BR+水培植物系统、一体化生物膜折流板反应器（IBBR）处理生活污水，探讨各工艺系统对生活污水中污染物的去除效果；并针对IBBR探究IBBR+化学强化除磷工艺处理生活污水的效能。

本书适合从事污水处理的科研人员和工程技术人员阅读，也可作为高等学校环境工程专业本科生、研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

分散型生活污水处理技术研究 / 朱静平, 蒋卉, 王彬著. —北京: 科学出版社, 2016.8

ISBN 978-7-03-049578-5

I. ①分… II. ①朱… ②蒋… ③王… III. ①生活污水-污水处理-研究 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 191762 号

责任编辑: 韩卫军 莫永国 / 责任校对: 谢 慧

封面设计: 墨创文化 / 责任印制: 余少力

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年8月第一版 开本: 787×1092 1/16

2016年8月第一次印刷 印张: 6

字数: 220千字

定价: 49.00元

前 言

农村生活污水的随意排放对水环境的影响日益严重。针对我国农村生活污水水质水量特征,寻求适合农村分散型生活污水处理的技术及装备,已成为解决我国及其他发展中国家农村生活污水污染问题的关键所在。

目前从事农村生活污水治理的企业多采用类似于治理城市生活污水的集成工艺技术处理农村生活污水,但因农村污水收集管网建设不足、运行维护人员缺乏、运行费用欠缺等方面的原因,致使大多数已建的农村生活污水处理设施得不到有效运行,造成极大浪费。本书的出版,有助于企业或各地相关部门因地制宜地选择农村分散型生活污水处理工艺,并提供相应工艺运行参数及运行效果方面的参考。

本书以分散型生活污水为研究对象,探讨了填充弹性填料/陶粒的厌氧折流板反应器(ABR)、ABR+小型植物滤床(PFB)组合工艺、填充悬浮球/组合填料的 A^2BR +水培植物系统、一体化生物膜折流板反应器(IBBR)等对生活污水中污染物的去除效果,旨在探求适合农村分散型生活污水的处理技术。参与本书编写的还有我的研究生孙丽、常莎、杨海英及西南科技大学环境与资源学院环境工程系的杨丽君老师和康军利老师。

本书研究内容的顺利完成得益于四川省国际科技合作与交流研究计划项目“利用净化槽技术处理农村分散型污水技术研究”(项目编号 2010HH0042)、四川高等学校科技创新重大培育项目“村镇生活污水污染控制技术研发”(项目编号 09ZZ033)、西南科技大学博士研究基金项目“废水水生生物处理中植物的筛选和净化机理研究”(项目编号 07ZX0103)及四川省低成本废水处理技术国际科技合作基地的支持;本书的出版得到西南科技大学环境科学与工程博士学位授权点建设项目资助;在本书的编辑出版过程中,科学出版社编辑莫永国给予了极大的支持和帮助;在此表示衷心的感谢。本书编写中引用了一些文献资料,在此向相关作者致以衷心的感谢。

限于编著者水平,书中疏漏和不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

朱静平

2016 年 6 月于西南科技大学

目 录

第一章 绪论	1
1.1 农村分散型生活污水的主要特征	1
1.2 国内外农村生活污水处理技术研究现状	1
1.2.1 厌氧生物处理技术	1
1.2.2 人工湿地处理技术	2
1.2.3 地下土壤渗滤净化系统	3
1.2.4 组合工艺处理技术	4
1.2.5 小型一体化污水净化装置	4
1.3 农村生活污水处理技术选择的思路	5
参考文献	5
第二章 填充弹性填料/陶粒的 ABR 处理生活污水的试验研究	8
2.1 材料与方法	8
2.1.1 试验装置	8
2.1.2 填料类型	9
2.1.3 试验用水	9
2.1.4 接种污泥和启动方法	9
2.1.5 分析项目与监测方法	9
2.2 结果与讨论	10
2.2.1 安装弹性立体填料的 ABR 的启动与运行	10
2.2.2 装填陶粒的 ABR 的启动与运行	12
2.2.3 填料表面的污泥结构分析	13
2.3 本章小结	14
参考文献	14
第三章 ABR+PFB 组合系统处理生活污水的试验研究	15
3.1 材料与方法	15
3.1.1 试验装置和操作方法	15
3.1.2 试验用水	16
3.1.3 分析项目与监测方法	16
3.2 结果与讨论	17
3.2.1 ABR+PFB 组合系统对 COD _{Cr} 的去除效果	17
3.2.2 ABR+PFB 组合系统对 SS 的去除效果	18
3.2.3 ABR+PFB 组合系统对氮磷的去除效果	18

3.2.4	ABR+PFB 组合系统各阶段反应器中的污泥特性分析	20
3.2.5	ABR+PFB 组合系统各单元中的氮循环菌分布	21
3.3	本章小结	24
	参考文献	25
第四章	不同级数 ABR 及其组合系统对生活污水中 COD_{Cr} 的去除效能	26
4.1	材料与方法	26
4.2	结果与讨论	27
4.2.1	不同级数 ABR 系统对 COD_{Cr} 的去除效果	27
4.2.2	不同级数 ABR+小型芹菜滤床组合系统对 COD_{Cr} 的去除效果	29
4.2.3	不同级数 ABR+水培芹菜组合系统对 COD_{Cr} 的去除效果	29
4.3	本章小结	30
第五章	悬浮球/组合填料 A^2BR+水培植物系统处理生活污水的试验研究	32
5.1	材料与方法	32
5.2	结果与讨论	33
5.2.1	悬浮球/组合填料 A^2BR 处理生活污水的启动运行	33
5.2.2	悬浮球/组合填料 A^2BR 仅靠生物膜作用对生活污水的处理效能	40
5.2.3	悬浮球/组合填料 A^2BR +水培植物系统处理生活污水的效能	46
5.2.4	水培植物系统处理生活污水的效能	53
5.3	本章小结	60
	参考文献	62
第六章	自制一体化反应器 (IBBR) 处理生活污水的启动研究	63
6.1	材料与方法	63
6.1.1	试验装置的设计和制作	63
6.1.2	试验用水与启动方法	65
6.1.3	分析项目和监测方法	65
6.2	结果与讨论	66
6.2.1	启动过程中不同 HRT 时 IBBR 对 COD_{Cr} 去除效果分析	66
6.2.2	启动过程中 IBBR 对 TP 去除效果分析	67
6.2.3	启动过程中 IBBR 对 TN 去除效果分析	67
6.2.4	启动过程中 IBBR 对 SS 去除效果分析	68
6.2.5	启动过程中 IBBR 各反应单元 pH 的变化	68
6.2.6	启动过程中 IBBR 各反应单元污泥特性及生物膜长势	69
6.3	本章小结	70
	参考文献	70
第七章	IBBR 出水用化学强化除磷剂筛选的试验研究	71
7.1	理论基础	71
7.2	材料与方法	71
7.3	结果与讨论	72

7.3.1 絮凝剂种类的初筛	72
7.3.2 絮凝剂的复筛	73
7.3.3 絮凝剂对处理水中 COD _{Cr} 的去除效果	73
7.3.4 絮凝剂对处理水中 pH 及颜色的影响	74
7.4 本章小结	74
参考文献	75
第八章 IBBR+化学强化除磷工艺处理生活污水的试验研究	76
8.1 材料与方法	76
8.1.1 实验装置和操作方法	76
8.1.2 试验用水	77
8.1.3 分析项目及测定方法	77
8.2 结果与讨论	77
8.2.1 不同工况下, IBBR 对 COD _{Cr} 的去除效能	77
8.2.2 不同工况下, IBBR 对 TN 去除效能及进出水 TN 组成	78
8.2.3 不同工况下 IBBR 对 TP 去除效能	80
8.2.4 兼氧、厌氧和好氧单元生物膜上微生物及其长势	80
8.2.5 生活污水经 IBBR+化学强化除磷工艺处理的进出水比较	82
8.2.6 隆冬季节, IBBR 对生活污水的去除效能	82
8.3 本章小结	84

第一章 绪 论

由于我国大多数农村住宅比较分散,经济基础较弱,没有完善的污水收集系统和污水处理设施,污水经常未经任何处理就直接排入就近的水渠、鱼塘及河道中,这致使农村及其周边的水环境受到不同程度的污染,饮用水的安全性也因此受到一定的影响^[1-4]。农村生活污水已经成为面源污染的重要来源,不仅影响农村的生存环境、威胁农民的身体健康、潜在影响饮用水的安全性^[1-4],而且也影响农村的经济发展和新农村建设^[5-7]。因此,加强农村生活污水的处理,既能改善农村居住环境,也可确保水源的安全性及人们的身体健康^[8]。目前,山东省青岛市、江苏省、浙江省等省市的部分农村地区已经建设了农村污水处理示范工程。

1.1 农村分散型生活污水的主要特征

(1)农村生活污水来源较广,主要包括厨房洗涤污水、洗衣洗澡废水、冲厕污水以及畜尿和家禽养殖废水等^[9-11]。

(2)农村生活污水的水量较小,但波动幅度较大,一般与当地人民的经济水平、生活习惯及生活方式息息相关;污水排放量的高峰时段一般出现在早上 6:00~8:00、中午 12:00 左右及下午 17:00~19:00,夜间的排放量较少甚至不外排,属于低浓度污水类型^[12-14]。

(3)由于农村生活污水是人们日常生活排出的废水,故污水的水质较稳定,一般不含有毒物质,主要含有有机物、氮、磷、细菌及寄生虫卵等^[15-17]。

1.2 国内外农村生活污水处理技术研究现状

目前,对于农村生活污水的处理,国内外研究和应用较多的技术有:①厌氧生物处理技术;②人工湿地处理技术;③地下土壤渗滤净化系统;④组合工艺处理技术;⑤小型一体化污水处理装置等。

1.2.1 厌氧生物处理技术

厌氧生物处理,即在与空气隔绝的条件下,通过专性厌氧菌和兼性厌氧菌的共同代谢作用,降解污水中的有机污染物,其分解的最终产物为水、二氧化碳和甲烷以及少量的氨和硫化氢^[18-20]。由于厌氧生物处理技术无需曝气充氧,产泥量少,是一种低成本、易管理的污水处理技术,其研究、开发速度大大高于好氧技术,且取得了一系列重大突破,在国内外得到广泛的应用。

国外 Elmitwalli 等^[21]采用填充聚氨酯泡沫填料的厌氧生物膜法处理生活污水,其结果显示:聚氨酯泡沫填料对 COD_{Cr} 和 SS 有良好的去除效果;在水力停留时间(HRT) $< 0.5\text{h}$,上流速度 $> 10\text{m/h}$ 时,厌氧生物膜法能保持较好的去除效果;同时在厌氧生物反应器中填充填料,可起到污泥停留时间与水力停留时间分离的作用,且在较短 HRT 条件下也可达到良好的去除效果。Elmitwalli 等^[22]研究了低温下采用两级厌氧工艺处理生活污水的效果。结果表明,环境温度为 13°C ,两级厌氧的 HRT 分别为 4h 和 8h 时,该工艺对 COD_{Cr} 的去除率可达到 71% 。

国内龙腾锐等^[23]采用炉渣、陶粒和核桃壳作为填料,研究了三种变速厌氧生物滤池对城市污水的处理效果。其结果显示:在负荷分别为 $2.31\text{kg COD}_{\text{Cr}}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 和 $4.54\text{kg COD}_{\text{Cr}}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的情况下,三种变速厌氧生物滤池出水中的 COD_{Cr} 浓度均 $< 100\text{mg/L}$ 和 150mg/L 。雒文生等^[24]在水温为 $32\sim 25^{\circ}\text{C}$ 时,采用上流式厌氧污泥床(UASB)反应器处理低浓度生活污水,结果表明:当 HRT 为 $2.5\sim 3.0\text{h}$,上升流速为 $1.4\sim 1.7\text{m/h}$,有机污泥负荷为 $0.06\sim 0.13\text{kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 时,UASB 反应器对 COD_{Cr} 去除率为 $40\%\sim 80\%$,且能稳定运行。周春洪等^[25]采用厌氧序批式反应器(ASBR)+序批式活性污泥法(SBR)的组合工艺作为反应系统,探讨两个反应器串联工艺对 COD_{Cr} 浓度为 $250\sim 350\text{mg/L}$ 生活污水的处理效能,结果表明:经过 ASBR 反应器对污水的均化、平衡作用,再通过 SBR 反应器对污水的脱氮除磷作用,ASBR+SBR 的组合系统对 COD_{Cr} 的去除率可达到 $85\%\sim 93\%$,且其出水水质达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级标准要求。

厌氧生物处理系统虽然无动力消耗,运行费用较低,管理简单,处理效果较好,但由于其不能满足生物脱氮除磷所需的环境条件和基质条件,对氮、磷的去除效果较差,这与孙丽等^[26]采用 ASBR 处理生活污水所得试验结果相一致。

1.2.2 人工湿地处理技术

人工湿地源于自然湿地的启发,是人工构建的具有一定长宽比、填充一定层次填料,并种植一些成活率高、处理性能好、抗水性强及有经济价值的植物于填料表面。污水通过植物和填料的过滤、吸附、吸收和离子交换以及植物和填料上附着微生物分解的共同作用,完成对污水的净化处理^[27-30]。按照水体流动方式和工程设计的不同,可将人工湿地分为表面流人工湿地、潮汐流人工湿地、潜流型人工湿地及垂直流人工湿地四种类型。其中,潜流型人工湿地在污水处理中应用最为广泛^[31-33]。

国外 Sklarz 等^[34]进行了循环垂直流人工湿地处理生活污水的研究,结果显示,当回流量为 $4.5\text{m}^3/\text{h}$,水力停留时间为 12h ,经过无植物的循环垂直流人工湿地对生活污水的净化作用,其出水中 BOD_5 和 TSS 的平均浓度分别为 5mg/L 和 10mg/L 。Wu 等^[35]采用坚固且防水的材料作为预制框架结构的人工湿地对生活污水进行了处理试验,其结果表明:该人工湿地对 BOD_5 、TSS、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TP 的去除率分别高达 96.0% 、 97.0% 、 88.4% 和 87.8% ,且在处理系统的表面形成了一层较厚的生物膜,为整个系统提供了保温效果,并使系统在严寒的冬季仍能维持良好的处理效果。

国内张跃峰等^[36]采用组合基质和煤渣基质的两种不同人工湿地处理农村生活污水,研究其脱氮效果及影响脱氮性能的因素。其结果表明:当水力负荷为 10cm/d 时,组合

基质人工湿地脱氮效果较好,且对总氮和氨氮的平均去除率分别为76.2%和83.2%;煤渣基质人工湿地在水力负荷为15cm/d时脱氮效果最好,且对总氮和氨氮的平均去除率分别为71.1%和73.9%。刘建等^[37]对垂直流人工湿地处理农村分散生活污水进行了研究。运行结果显示:HRT为40.1h,水力负荷(HLR)小于 $0.042\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 时,人工湿地处理系统对污水中主要污染物具有较好的去除效果,其出水 COD_{Cr} 、TP、TN及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的平均浓度分别小于60mg/L、1mg/L、20mg/L及15mg/L,且达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)的一级排放标准要求。虞益江^[38]通过小试装置研究了应用表面流人工湿地对人工模拟生活污水的处理效果。结果表明:人工湿地处理系统对生活污水中 COD_{Cr} 、TP和TN的平均去除率分别为75%、73%和75%,且出水 COD_{Cr} 和TN达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级排放标准要求,出水TP达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)二级排放标准要求。

人工湿地处理系统具有工艺设备简单、运行费用低、处理效果好、对进水负荷适应性强等优点,已被大部分国家采纳应用。但人工湿地系统存在占地面积过大、易受气候影响、基质易堵塞等缺陷。因此,研究如何提高系统负荷,减少占地面积及解决基质堵塞等问题是人工湿地系统研究的重点。

1.2.3 地下土壤渗滤净化系统

基于自然生态系统,地下渗滤净化系统将污水投配到距离地面约50cm,具有良好扩散性且具有一定构造的土层中,污水通过布水管附近的基质向周围扩散,利用表层土壤中微生物的过滤、吸附、吸收和降解作用去除污水中的污染物^[39-41]。此系统整个处理装置置于地下,不产生臭气、不影响美观、受季节影响小且出水水质较好,是一种应用面广的自然生态净化处理系统^[7,42]。

国外Li等^[43]在水力负荷多变的条件下,采用地下渗滤系统处理校园生活污水。经过8个月的小规模试验,结果显示,在HLR为 $0.040\sim 0.081\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 和污染物负荷(PLR)为 $6.71\sim 16.80\text{ g BOD}_5/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 的条件下,地下渗滤系统对 COD_{Cr} 、TP、TN和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率分别为 $87.5\pm 1.6\%$ 、 $91.8\pm 0.7\%$ 、 $80.1\pm 1.1\%$ 和 $86.9\pm 2.0\%$ 。Woo Cho等^[44]研究了间歇运行情况下,由覆盖物、粗质土层和细土层组成的地下土壤渗滤系统对氮的去除效果。结果显示,硝酸盐的去除效果取决于处理系统中土壤的结构,含100%沙的粗土层比含10%泥沙、黏土的细土层对氨氮和硝态氮有更好的去除效果。

国内华文才等^[45]采用地下土壤渗滤系统处理农村生活污水,结果表明,该处理系统对生活污水中 COD_{Cr} 、 BOD_5 、TP和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的平均去除率分别为89.78%、78.9%、95.03%和97.13%,且该系统的出水方式对 BOD_5 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果有一定的影响。沈晓清等^[46]采用地下土壤渗滤系统处理农村生活污水,并比较了面积分别为 9 m^2 、 45 m^2 、 90 m^2 以及 200 m^2 处理系统的实际工程应用效果。结果显示,随着土地处理系统面积的增大,地下土壤渗滤处理系统对污水中 COD_{Cr} 、 BOD_5 、TP和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果增强,进而出水水质较好。

地下土壤渗滤净化系统具有投资少、易建设、好维护、运行费用低等优点。但由于

其占地面积较大,土壤易堵塞,故该处理系统不适用于土地资源紧缺的地区。

1.2.4 组合工艺处理技术

近年来,采用单种工艺处理生活污水,其出水常难以满足日益严格的氮、磷排放标准要求,由此催生了一系列组合工艺技术的研发。

国外 Moawad 等^[47]采用 UASB+SBR 的组合工艺处理生活污水。结果表明,当 UASB 中水力停留时间为 3~4h, SBR 中曝气时间为 2~5h 时,该组合处理系统对 COD_{Cr} 、 BOD_5 和 TSS 的平均去除率分别为 94%、97%和 98%。Tawfik 等^[48]研究了在平均水温为 15℃, UASB+下流式悬挂海绵(DHS)组合系统对生活污水的处理效果,系统运行 6 个月。其结果显示:当组合处理系统总的 HRT 为 10.7 h,总的污泥停留时间(SRT)为 88d 时,该组合工艺对 COD_{Cr} 和 BOD_5 的平均去除率分别为 90%和 98%,且出水 TSS 的浓度低于 12mg/L。

国内冉全等^[49]研究了接触氧化池+潜流式人工湿地或生态净化塘的组合工艺处理农村生活污水。结果表明,该组合处理工艺对污水中污染物的去除效果好,对 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 和 TP 的平均去除率分别为 73%、97%、87%和 93%,且出水水质均能达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)一级排放标准要求。孙丽等^[50]采用兼氧/厌氧折流板反应器(ABR)+小型植物滤床(PFB)组合工艺处理生活污水。其实验结果显示,ABR+PFB 组合处理系统对 COD_{Cr} 和 SS 的平均去除率分别为 75.5%和 97.4%,其中 ABR 系统对 COD_{Cr} 和 SS 的平均去除率分别为 63.4%和 80.9%,PFB 系统对 COD_{Cr} 和 SS 的平均去除率分别为 31.6%和 83.2%。

1.2.5 小型一体化污水净化装置

随着我国生活污水处理技术的发展,在保证处理效果的同时还需要达到处理系统的设备化和小型化,尽量做到规模小、易管理,便于取材及成本低等^[51]。小型一体化污水处理设备有效地将各种水处理工艺整合起来,以实现污水净化达标的目的^[52]。目前,日本有超过 1/5 的人口使用小型一体化污水处理设备(净化槽),美国则有 1/4 的人口和 1/3 新建的社区在使用该处理系统。Heistad 等^[53]研究了一种由化粪池、好氧生物过滤器和上流式饱和过滤器组成的,且适用于单户家庭的污水处理工艺。结果显示,经过 3 年的运行,该处理系统出水水质较好且运行稳定,该系统对 BOD_5 、N、P 和 SS 的平均去除率分别为 97%、30%、70.8%和 99.4%。Liang 等^[54]对三阶段进水的废水处理系统研究表明,当进水的 SS、 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的浓度分别低于 10mg/L、50mg/L 和 8mg/L 时,其去除率分别为 90%、80%和 90%。肖珊等^[55]采用小型一体化 MBR 处理“农家乐”污水的实例研究。结果表明,pH 为 6~9,进水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 分别为 40.8mg/L、40.8mg/L、2.4mg/L 和 1.6mg/L 时,该一体化系统对 COD_{Cr} 、 BOD_5 、SS 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的平均去除率分别为 90%、96%、98%和 96%,且出水水质达到《污水综合排放标准》(GB8978—1996)一级排放标准的的要求。常莎等^[56]采用自制一体化生物膜折流板反应器(IBBR)处理生活污水。其结果显示,当 IBBR 稳定运行时,出水 COD_{Cr} 保持在 50mg/L 以下,达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级 A 标准的要求;当硝化液

回流比从 100% 增加到 400% 时, IBBR 对 TN 的去除率从 26% 提高到 50%, 其对 TP 的去除率从 20% 上升到 50%。

综上所述, 国内外对生活污水的处理技术研究较多, 且有些处理技术已广泛应用于实际工程中。但不同地区农村生活污水处理技术需选用适合当地的模式。

1.3 农村生活污水处理技术选择的思路

城市生活污水均采用集中处理的方式, 但集中处理并不适用于无管网覆盖的农村及偏远郊区生活污水的处理。

鉴于此, 在农村生活污水的处理方面, 不能直接套用已发展成熟的处理城市生活污水的工艺与方法, 而应根据农村生活污水水质水量特点、当地农村污水管网建设情况、受纳水体的水质情况、可用于灌溉或施肥的土地资源情况等, 因地制宜地开发能耗低、操作简单、易于管理且维护费用低的新型农村生活污水处理技术, 这是解决农村面源污染的关键所在, 也是改善农村水环境的必要措施之一。

参考文献

- [1]王坚. 浅析农村生活污水处理系统及工艺[J]. 中国新技术新品, 2011, 13: 199-120.
- [2]张宝军, 刘辉, 沈士德, 等. 农村生活污水分散式生态处理应用研究[J]. 徐州建筑职业技术学院学报, 2011, 11(2): 1-3.
- [3]王青颖. 中国农村生活污水处理技术应用现状及研究方向[J]. 污染防治技术, 2007, 20(5): 37-41, 73.
- [4]李海明. 农村生活污水分散式处理系统与实用技术研究[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(9): 177-181.
- [5]孙小锋, 倪丽, 陈宏观. 农村生活污水处理方式与运行模式的思考[J]. 江苏农业科学, 2011, (1): 419-421.
- [6]吕月珍, 孔朝阳. 浙江农村生活污水治理现状及防治对策[J]. 绿色科技, 2010(8): 157-159.
- [7]杨晓蓉. 我国农村生活污水的治理[J]. 北方环境, 2011, 23(5): 158.
- [8]胡广叶. 农村生活污水处理现状及对策研究[J]. 现代商贸工业, 2011, 14: 251-252.
- [9]苏东辉, 郑正, 王勇, 等. 农村生活污水处理技术探讨[J]. 环境科学与技术, 2005, 28(1): 79-81, 113.
- [10]张克强, 黄治平, 王风, 等. 我国农村污水处理技术模式与进展[J]. 中国农学通报, 2008, 24: 59-63.
- [11]缪茂靠. 农村生活污水治理分析[J]. 中国高新技术企业, 2009(15): 134-135.
- [12]白晓龙, 顾卫兵, 沃飞, 等. 农村生活污水处理技术与展望[J]. 农业环境与发展, 2008(6).
- [13]吴文忠, 彭书传, 方宇媛, 等. 几种分散农居生活污水组合处理工艺[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(8): 4616-1617.
- [14]Gajurel D R, Li Z, Otterpohl R. Investigation of the effectiveness of source control sanitation concepts including pre-treatment with Rottebehaelter[J]. Water Science and Technology, 2003, 48(1): 111-118.
- [15]郑伟, 邓晓莉, 翟俊, 等. 重庆市农村生活污水处理经济适用技术探讨[J]. 三峡环境与生态, 2011, 33(2): 43-46.
- [16]刘婧, 黎忠, 张太平, 等. 生物接触氧化/人工湿地组合工艺处理农村生活污水[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(17): 9163-9164.
- [17]何新生, 耿颖, 徐洪斌, 等. 我国农村生活污水处理技术评析[J]. 广东农业科技, 2010, (10): 169-197.
- [18]于雷, 彭剑峰, 宋永会. 厌氧反应器的酸化及其恢复研究进展[J]. 工业水处理, 2011, 31(8): 1-4.
- [19]朱大庆. 水解(酸化)工艺在生活污水处理中的应用[J]. 江西农业大学学报, 2003, 25: 167-169.
- [20]张希衡. 水污染控制工程[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2006.

- [21] Elmitwalli T A, Van Dun M, Bruning H, Zeeman G, et al. The role of filter media in removing suspended and colloidal particles in an anaerobic reactor treating domestic sewage[J]. *Bioresource Technology*, 2000, 72: 235-240.
- [22] Elmitwalli Tarek A, Oahn Kim L T, Zeeman Grietje, Lettinga Gatz. Treatment of domestic sewage in a two-step anaerobic filter/anaerobic hybrid system at low temperature[J]. *Water Research*, 2002, 36: 2225-2232.
- [23] 龙腾锐, 何强, 陈士年. 变速厌氧生物滤池处理城市污水研究[J]. *中国给水排水*, 1995, 11(2): 4-8.
- [24] 雒文生, 张青, 蔡振华. UASB处理低浓度城市生活污水的中试试验[J]. *环境工程*, 2006, 10(5): 89-93.
- [25] 周春洪, 葛丽英, 季俊杰. ASBR+SBR处理生活污水试验研究[J]. *云南环境科学*, 2004, 23(1): 51-53.
- [26] 孙丽, 朱静平. ASBR处理生活污水的启动研究[J]. *西南科技大学学报(自然科学版)*, 2010, 25(4): 52-56.
- [27] 杨俊, 龚琴红. 人工湿地在我国农村生活污水治理中的应用[J]. *农业环境与发展*, 2007(2): 71-74.
- [28] 莫建红. 人工湿地工艺处理农村生活污水[J]. *广东化工*, 2009, 36(7): 166-167.
- [29] 付融冰, 杨海真, 顾国维, 等. 潜流人工湿地对农村生活污水氮去除的研究[J]. *水处理技术*, 2006, 32(1): 18-22.
- [30] 应俊辉. 利用人工湿地处理农村生活污水的研究[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(4): 1104-1105.
- [31] 董贝, 刘杨, 杨平. 人工湿地处理农村生活污水研究与应用进展[J]. *水资源保护*, 2011, 27(2): 80-85.
- [32] 曾春霞. 人工湿地技术在农村生活污水治理中的应用研究[J]. *重庆三峡学院学报*, 2011, 27(130): 66-69.
- [33] 朱静平, 王中琪. 污水处理工程实践[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2010.
- [34] Sklarz M Y, Gross A, Yakirevich A, et al. A recirculating vertical flow constructed wetland for the treatment of domestic wastewater[J]. *Desalination*, 2009, 246(1-3): 617-624.
- [35] Wu Shubiao, Austin David, Liu Lin, et al. Performance of integrated household constructed wetland for domestic wastewater treatment in rural areas[J]. *Ecological Engineering*, 2011, 37(6): 948-954.
- [36] 张跃峰, 刘慎坦, 谢祥峰, 等. 人工湿地处理农村生活污水的脱氮影响因素[J]. *江西大学学报*, 2011, 23(4): 487-491.
- [37] 刘建, 胡啸, 李轶. 垂直流人工湿地处理农村分散生活污水的应用与工程设计[J]. *水处理技术*, 2011, 37(6): 132-135.
- [38] 虞益江. 表面流人工湿地处理农村生活污水的研究[J]. *中国沼气*, 2011, 29(4): 25-26.
- [39] 王勇, 邓凯洋. 地下土壤渗滤系统在农村生活污水分散处理工程中的设计及应用[J]. *城市道桥与防洪*, 2010, (9): 191-194.
- [40] 李杰峰, 铁柏清, 杨余维, 等. 植物-土壤渗滤法对农村生活污水降解研究[J]. *湖南农业科学*, 2009, (6): 73-75.
- [41] 张洪玲, 邹俊, 陈昕. 多级土壤渗滤系统处理太湖流域农村生活污水的工程研究[J]. *安徽农业科学*, 2011, 39(9): 5178-5180.
- [42] 杨余维, 谢可军, 赵婷. 植物-土壤渗滤法对农村生活污水的处理工艺研究[J]. *安全与环境工程*, 2009, 16(1): 51-57.
- [43] Li Haibo, Li Yinghua, Sun Tieheng, et al. The use of a subsurface infiltration system in treating campus sewage under variable loading rates[J]. *Ecological Engineering*, 2012, 38: 105-109.
- [44] Kang Woo Cho, Kyung Guen Song, Jin Woo Cho, et al. Removal of nitrogen by a layered soil infiltration system during intermittent storm events[J]. *Chemosphere*, 2009, 76: 690-696.
- [45] 华文才, 冯益敏, 朱炳泉. 地下土壤渗滤系统处理农村生活污水试验分析[J]. *华南交通大学学报*, 2008, 25(6): 6-10.
- [46] 沈晓清, 王卫琴. 地下土壤渗滤系统处理农村生活污水应用研究[J]. *工业安全与环保*, 2009, 35(7): 15-17.
- [47] Moawad A, Mahmoud U F, El-Khateeb M A, et al. Coupling of sequencing batch reactor and UASB reactor for domestic wastewater treatment[J]. *ScienceDirect*, 2009(242): 325-335.
- [48] Tawfik A, Ohashi A, Harada H. Sewage treatment in a combined up-flow anaerobic sludge blanket(UASB)-down-flow hanging sponge(DHS) system[J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2006(29): 210-219.

- [49]冉全, 吕锡武. 组合工艺处理农村生活污水[J]. 广西轻工业, 2007, 1: 101-102.
- [50]Sun L, Zhu J P. Research on CBR+PFB to treat domestic wastewater[J]. Advance Materials Research, 2011, 183-185: 611-615.
- [51]杨小俊, 贾海涛, 蔡亚君, 等. 一体化生物膜反应器处理农村生活污水试验研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(1): 44-48.
- [52]白晓龙, 顾卫兵, 金胜哲, 等. 一体化农村生活污水处理工艺的设计与应用[J]. 中国给水排水, 2011, 27(4): 58-60.
- [53]Heistad A, Paruch A M, Vrale L, et al, A high performance compact filter system treating domestic wastewater [J]. Ecological Engineering, 2006, 28: 374-379.
- [54]Liang H W, Gao M, Liu J X, et al. A novel integrated step-feed biofilm process for the treatment of decentralized domestic wastewater in rural areas of China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, 22(3): 321-327.
- [55]肖珊, 买文宁, 梁家伟. 小型一体化 MBR 系统处理“农家乐”污水实例[J]. 水处理技术, 2010, 36(12): 134-136.
- [56]Chang S, Zhu J P. Performance of an Integrated Biofilm Baffle Reactor (IBBR) to Treat Domestic Wastewater[J]. Fresenius Environment Bulletin, 2012, 21(9): 2649-2655.

表 1-1 试验设备参数

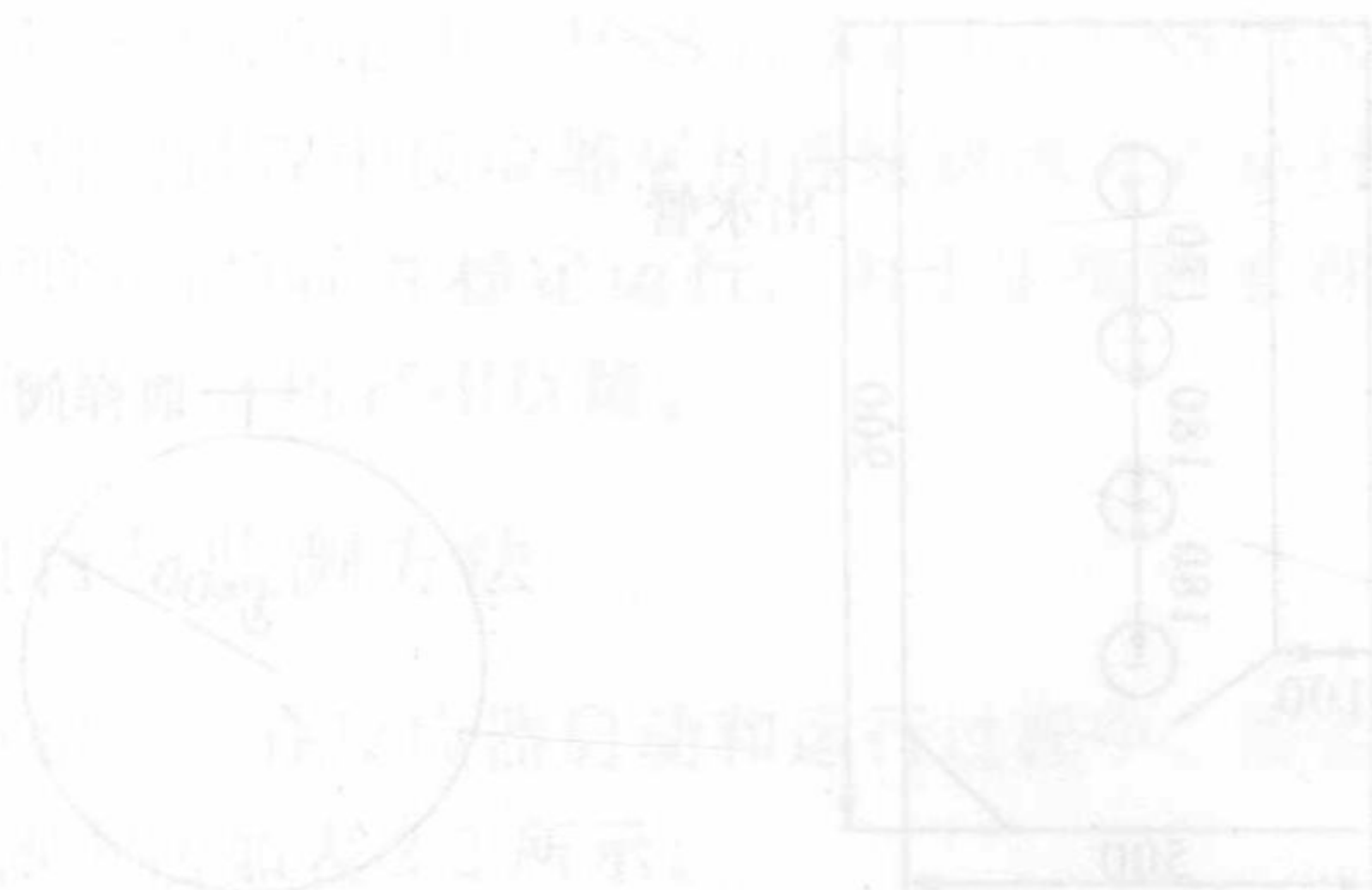


图 1-1 ABR 反应器示意图

第二章 填充弹性填料/陶粒的 ABR 处理生活污水的试验研究

近年来，新型厌氧生物反应器及工艺的开发使低浓度有机废水的厌氧生物处理成为可能。新型高效厌氧生物反应器可通过以下两种途径来保持反应器内污泥浓度：①培养出颗粒污泥，使悬浮的生物絮体有良好的凝聚性能和沉降性能，不随出水流失，如上流式厌氧污泥床反应器(UASB)；②将生物细胞固定于载体上，如厌氧滤器(AF)。新型高效厌氧工艺成功地将固体停留时间与水力停留时间分离，从而使固体停留时间可长达上百天，水力停留时间从过去的几十天或几天缩短到几天或几小时。

目前，国内外研究者已开发了一系列高效节能的厌氧生物反应器，其中，厌氧序批式反应器(ASBR)^[1]、上流式厌氧污泥床反应器(UASB)^[2]、厌氧折流板反应器(ABR)^[3-4]等被验证在处理生活污水方面具有较好的效果。

本章采用自制的 ABR，分别填充弹性立体填料和陶粒，考察其处理生活污水的效果，旨在为采用厌氧生物技术处理生活污水的可行性提供技术支持。

2.1 材料与方法

2.1.1 试验装置

厌氧折流板反应器(ABR)由体积为 0.2m³的塑料桶制成，反应器直径为 50cm，高为 100cm，有效容积为 0.18m³，并被竖直折流板分成 2 个隔室。沿反应器高度设有 4 个取样口。反应器进水由水泵从原水水池泵入，污水流经下流隔室，经隔板折流进入上流隔室，然后出水。产生的沼气由反应器顶部排出。ABR 试验装置如图 2-1 所示。

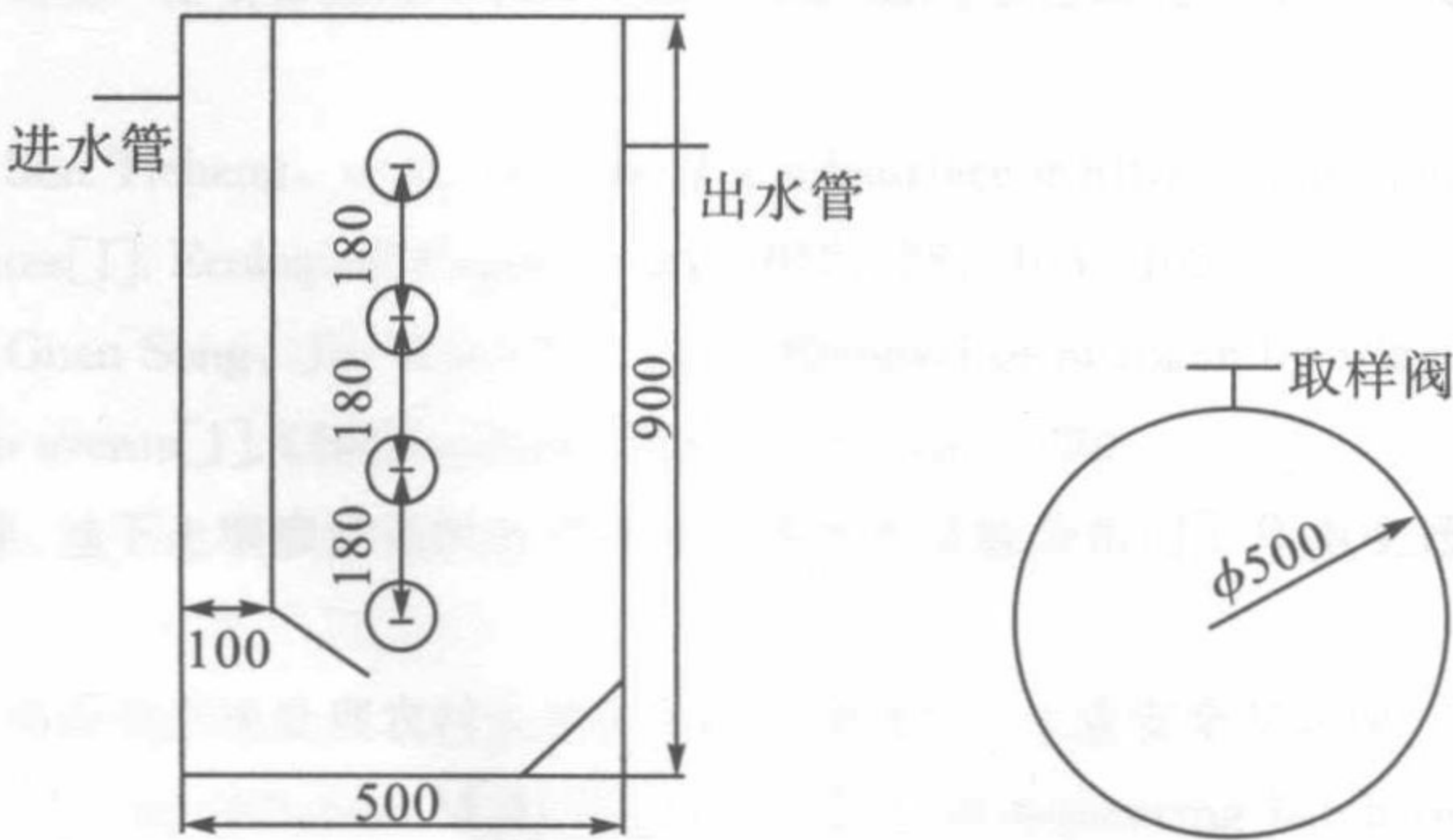
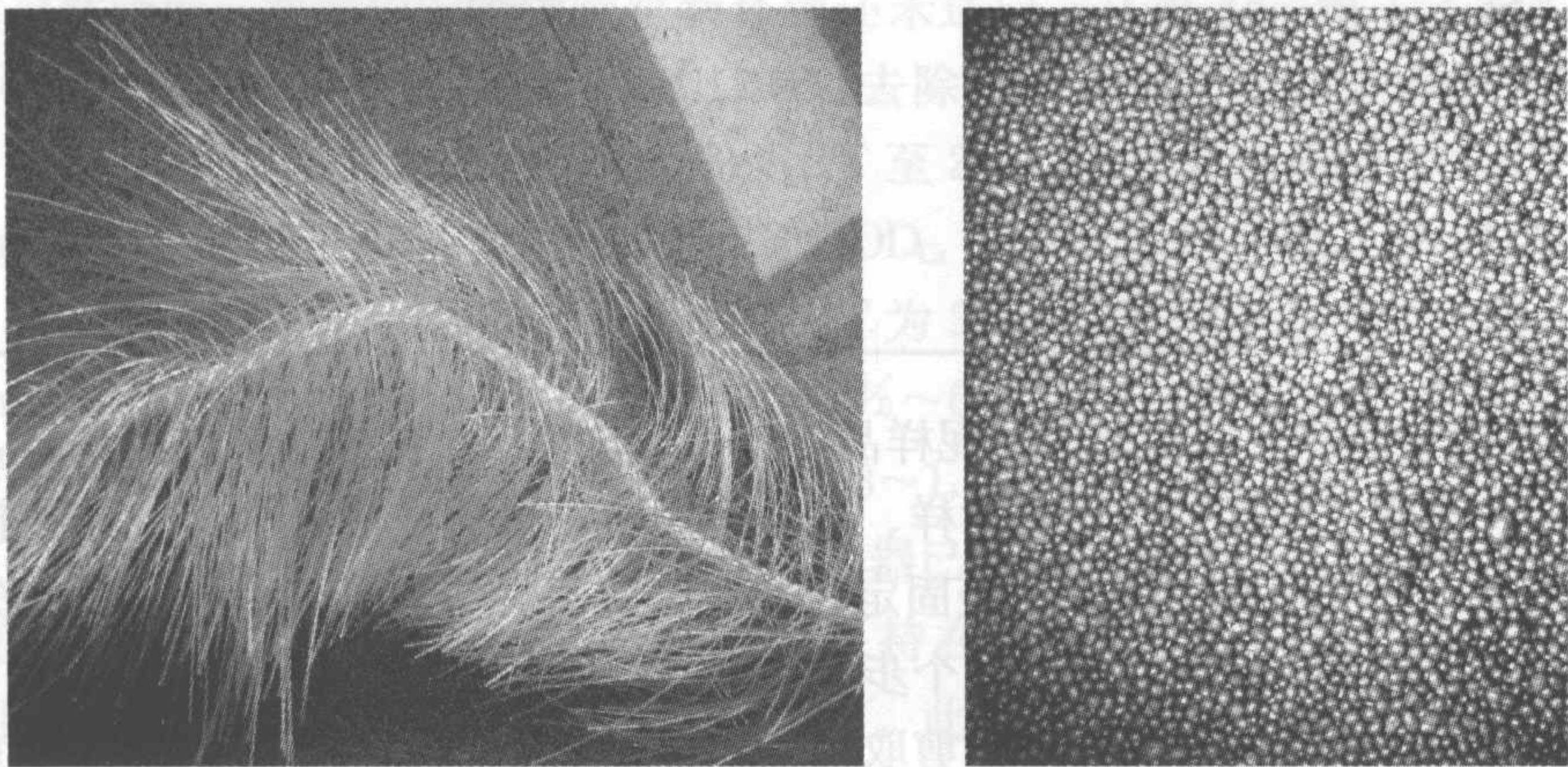


图 2-1 ABR 装置图(单位: mm)

2.1.2 填料类型

所用填料为弹性立体填料和陶粒，如图 2-2 所示。



(a)弹性填料 (b)陶粒

图 2-2 填料

2.1.3 试验用水

试验用水取自西南科技大学污水处理厂细格栅出水，该污水主要来自学生和教职工生活污水及学校周边居民生活排水，其水质指标与农村生活污水水质相近，具体水质情况如表 2-1 所示。

表 2-1 试验用水水质

水质参数	COD _{Cr} /(mg/L)	TN/(mg/L)	TP/(mg/L)	pH
范围	200~700	20~50	2~5	6~8

2.1.4 接种污泥和启动方法

(1)接种污泥。ABR 的接种污泥取自绵阳某酒厂废水处理站 UASB 反应器剩余污泥，接种污泥性能指标为 TSS 13.64g/L、VSS 7.28g/L、VSS/TSS 0.53。

(2)启动方法。在启动过程中反应器采用连续进水方式运行，并逐步提高有机容积负荷，直至反应装置达到适宜负荷并稳定运行。由于生活污水有机物浓度低，本章研究采用缩短 HRT 的方法来提高有机容积负荷。

2.1.5 分析项目与监测方法

(1)水质指标的测定^[5]。在反应器启动和运行过程中，需监测污水的水质指标，采用的分析测试项目和监测方法如表 2-2 所示。

表 2-2 分析测试项目和监测方法

分析项目	测定方法
COD _{Cr}	快速消解—滴定法
SS	重量法
TN	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
NH ₃ -N	纳氏试剂比色法
TP	钼酸铵分光光度法
pH	酸度计

(2)扫描电镜制样。填料表面污泥样品的制样方法^[6-7]：扫描电镜样品制样，一般需要经过固定、清洗、脱水、干燥、黏样、镀金等步骤，最后才能把样品放到扫描电镜下观察。但是由于污泥样品分散，若经固定、清洗、脱水等步骤处理，样品易流失，因而本章研究省去了固定、清洗和脱水三个步骤。

具体污泥样品预处理步骤如下：剪取污泥附着较好的弹性填料 0.5cm(陶粒直接取一颗)，放入培养皿中于 40℃ 条件下进行干燥，然后用导电胶将干燥后的样品粘在样品台上，放入离子溅射仪中镀金膜，最后进行扫描电镜(Leica Cambridge LTDS 440)观察。

2.2 结果与讨论

2.2.1 安装弹性立体填料的 ABR 的启动与运行

(1)反应器启动过程。反应器由一级兼氧和三级厌氧折流反应器组成，兼氧和各级厌氧 ABR 接种污泥量相同，且均接种厌氧污泥，接种后污泥的 VSS 浓度均为 1.48g/L。反应器先采用生活污水静置培养 2d，然后开始连续进水，进水 COD_{Cr} 浓度保持在 240~620mg/L。四级 ABR 反应器启动期间进出水 COD_{Cr} 及其去除率变化如图 2-3 所示。

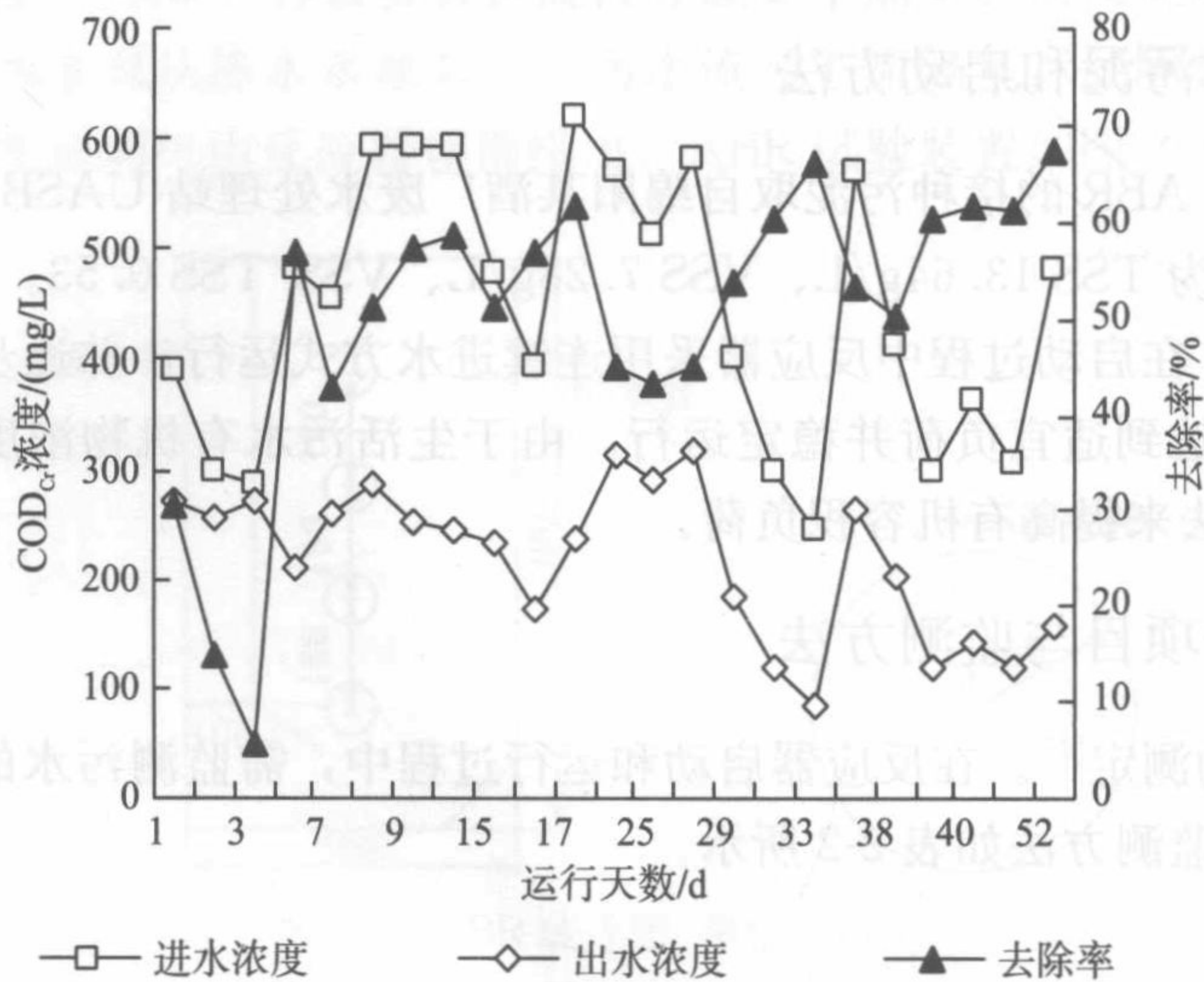


图 2-3 四级 ABR 启动期间进出水 COD_{Cr} 及其去除率变化