



全国中文核心期刊
中国科技核心期刊

环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering



第9卷 第9期

Vol.9 No.9

中国科学院 主办
生态环境研究中心
科学出版社 出版

9
2015

目 次

水 污 染 防 治

紫外线消毒对3种大肠杆菌的灭活效果和耐药性影响	张崇森	庄凯	巨欣	王晓昌(4097)
强化除磷型 A/O-MBR 工艺运行稳定性	任金柱	李军	王朝朝	刘彬 高金华 常江(4102)
超声波紫外线一体化推流式反应器中试装置用于污水消毒				
.....	郭浩	周瑛	周晓琴	李子富 闫圆圆 靳昕(4107)
Ca ²⁺ 强化短程硝化颗粒污泥培养	吕永涛	贾燕妮	鞠恺	赵洁 苗瑞 王磊(4112)
猪场废水厌氧自电解处理过程中关键参数优化	王云	朱能武	沈伟航	李小虎 吴平霄(4117)
碳纳米管稳定纳米 Fe ₃ O ₄ 的制备及降解染料橙 II		邓景衡	李佳喜	余侃萍 谢建国(4125)
湿式过氧化氢氧化活性艳蓝 KN-R	贺玲	刘红玉	杨春平	彭艳蓉 曾光明 王鹏 刘芬(4131)
草皮缓冲带对洱海流域面源污染的削减效果		胡威	王毅力	储昭升(4138)
共培养条件下黄菖蒲和狭叶香蒲对铜绿微囊藻光合系统的影响	陈国元	李青松	谢莆尧	陈燕虹(4145)
Fenton 试剂协同 TiO ₂ 光催化降解三氯乙酸及协同机理	王芬	赵宝秀	李想	李伟江 杨龙(4153)
城市大型缓流景观水体流场模拟及人工循环水动力优化		贾泽宇	郑剑锋	孙力平 于静洁(4159)
短程硝化反硝化工艺处理低 C/N 餐厨废水	张周	赵明星	阮文权	缪恒锋 任洪艳 黄振兴(4165)
改性天然菱铁矿去除水中六价铬		周晓倩	郭华明	赵凯(4171)
2种载体对厌氧同步消化、反硝化的影响	冉春秋	邹学军	范立明	崔玉波 周集体(4178)
基于有效去除铅(II)的中孔炭乙二胺改性及影响因素分析				
.....	杨美蓉	李坤权	徐恩兵	乔小朵 潘根兴 郑正(4185)
城市污水处理过程中不同形态氮类营养物的转化特性		金鹏康	宋利	任武昂(4193)
曝气对潜流人工湿地中木本植物的影响	陈永华	吴晓芙	纪智慧	马群 陈明利(4199)
变权组合模型在景观水体水质模拟中的应用			赵加斌	赵新华 彭森(4206)
鱼菜共生系统氮素迁移转化的研究与优化	邹艺娜	胡振	张建	谢慧君 梁爽(4211)
基于虚拟治理成本法的生态环境损害量化评估	蔡锋	陈刚才	彭枫	杨清玲 赵士波 鲜思淑 吴飞(4217)
漂浮型可见光催化剂 Fe-N-TiO ₂ /FP-CTS 的制备及其对溶解性柴油的降解				
.....	黄嘉瑜	王学江	卜云洁	张晶 马荣荣 赵建夫(4223)
非晶态 Co _{0.5} Ni _{0.5} Fe ₂ O ₄ 的制备及对水中五氯苯酚的吸附		孙梦圆	崔春月	吴娟 宋姿蓉(4228)
pH 对同步硝化反硝化生物膜内溶解氧分布的影响			黄胜娟	荣宏伟 林孟霞(4233)
稻壳制备介孔状二氧化硅的光催化性			穆浩荣	张玲玲 白淑琴(4239)
玉米秆碳源去除地下水硝酸盐	李同燕	李文奇	胡伟武	冯传平(4245)
提高低 C/N 值农村生活污水中 TN 的去除效果	匡武	王翔宇	周其胤	杨远盛(4252)
油田聚驱采出液乳化特性及其破乳-絮凝	翁艺斌	阎光绪	李敏	翟星月 郭绍辉 张佩佩(4259)
西安某人工湖水水质时空分布特征及其荧光特性		于佳真	王晓昌	薛涛 陈荣(4265)
改性钙基蒙脱土酸性条件下吸附油酸钠	任瑞晨	张乾伟	石倩倩	李彩霞 王秀兰 孟媛媛(4273)
天然沸石对海水中氨氮的吸附特性	王文华	赵瑾	张晓青	成玉 王静 张雨山 李陆杨(4281)
微孔曝气器脉冲式充氧效果		徐鹏	单继宏	金晓航 于江忠 孙毅 张建中(4287)
厌氧、好氧、厌氧/好氧交替状态对活性污泥性质的影响		杨波	单晓明	田晴 李方 马春燕(4293)
城市人工湖的生态治理		徐后涛	赵凤斌	张玮 王丽卿 郑小燕(4300)
载钴催化剂的制备及对染料降解	李洁冰	李玉龙	Asif Hussain	王瑾 李登新(4309)
低温季大型表流湿地对微污染水体脱氮效果及优化运行				
.....	左倬	仓基俊	朱雪诞	成必新 胡伟 商志清 卿杰(4314)
沸石负载高锰酸钾去除低浓度氨氮	郭华	王军林	张小燕	王娜 刘俊良(4321)
2-乙基蒽醌修饰石墨毡催化电极电化学降解土霉素废水二级出水				
.....	李贵霞	岳琳	潘贵芳	刘艳芳 李伟 李再兴(4326)
抗菌剂三氯卡班在水溶液中的光降解		冯振涛	刘海津	汪应灵 冯家豪(4333)
磁性水滑石快速吸附水体中 Cu(II) 离子	张琪	罗琳	张嘉超	刘武嫦 胡伟斌(4339)
零价铁对水中六价铬还原性能及沉淀污泥中铬的固定化	陈忠林	李金春子	沈吉敏	王斌远 樊磊涛(4345)
椰壳活性炭对水中 N-DBP 前体物的吸附			张一凡	金腊华 周元(4353)

混凝和活性炭吸附深度处理制药废水中有机物去除特征	崔凤国	杨 鹏	张伟军	王东升(4359)
Fenton 试剂氧化处理火炸药污染土壤淋洗液	薛江鹏	王建中	赵泉林	王中友 叶正芳(4365)
微波法对吸附扑热息痛废水活性炭的再生	吴 坚	夏洪应	彭金辉	张利波 郑照强 张声洲(4371)
ES 稳定重金属污染底泥效果	蒋玉广	袁珊珊	杨 伟	梁静波 巢军委(4376)
<i>Halothiobacillus neapolitanus</i> 脱硫性能及限制性因素影响			冯守帅	陈金才 杨海麟(4385)
曝气速率对附加微通道湍流促进器 SMBR 流体动力学性能的影响			解 芳	王建敏 刘进荣(4391)
H ₂ O ₂ /Fe ⁰ 、H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ 、H ₂ O ₂ /Fe ³⁺ 3种体系处理印染废水			姚 兴	颜幼平 冯 霞(4398)
以游泳馆污水为处理对象的 SBR 中不同污泥负荷下氨氧化菌群落的演变				
.....	薛士琼	孙宝盛	于凤庆	王明圆 李 恺 薛圆圆(4403)
环糊精改性蛭石对水中 Cr(VI) 的吸附			张太亮	吴 凤 阳 萍 欧阳斌(4409)
滤材的表面改性对淤泥脱水过程中渗透性能的影响			浩 婷	王 曦 周 颜 吴 燕(4415)
不同混凝剂处理低温低浊水				洪 云 徐 慧(4421)
SMBBR 工艺不同填料处理生活污水	李卫平	李 杰	朱浩君	杨文焕 敬双怡 殷震育 刘 燕(4427)

大气污染防治

煤矿井下高压喷雾雾化特性研究	王鹏飞	刘荣华	汤 梦	张 文	桂 哲(4433)
露天堆场防风抑尘网遮蔽效果的数值模拟			潘武轩	宋翀芳	何鸿展(4440)
TEPA/TETA 改性 SBA-15 对 CO ₂ 吸附性能的影响			魏建文	和凯凯	孟令硕 廖 雷(4447)
改性粉煤灰基吸附剂烟气脱汞			郑慧敏	刘清才	王 铸 孟 飞 牛德良(4453)
改性 Fe ₂ O ₃ 脱硫剂脱除 H ₂ S 反应特性	沈洪波	张 辉	刘应书	李皓琰	张 贺 郝智天(4458)
一株鱼粉加工硫化氢恶臭气体脱除菌株的分离与鉴定			孙佩璇	娄永江	庄荣玉 严小军(4465)
北京市近 12 年空气污染变化特征及其与气象要素的相关性分析	谢志英	刘 浩	唐新明	李腾腾	张文君(4471)
循环灰加湿量对密相塔半干法脱硫效率的影响			韩剑宏	黄永海	卢熙宁 童震松(4479)
折流式反应器空气净化效果			刘 鹏	郑 洁	宋雪瑞 王小艳(4483)

固体废物处置

市政污泥干化动力学研究	范海宏	武亚磊	李斌斌	马 增(4488)	
响应曲面法优化 CO ₂ 活化制备夏威夷坚果壳基活性炭	程 松	张利波	夏洪应	彭金辉	张声洲 周朝金(4495)
胞外聚合物对生物浸出线路板金属粉末中铜的作用			杨 崇	朱能武	崔佳莹 吴平霄(4503)
微波超声协同处理废弃印刷线路板中非金属			蔡丽楠	殷 进	张 桐 孔晓露(4509)
水淬钢渣碳化固定 CO ₂	涂茂霞	雷 泽	吕晓芳	赵宏欣	王丽娜 张军玲 陈德胜 宋文婉 齐 涛(4514)
O ₂ /CO ₂ 气氛下市政污泥混煤燃烧及动力学特性			邵志伟	黄亚继	严玉朋 刘长奇(4519)
提高硅钙渣胶凝活性的热活化实验			杨志杰	孙俊民	张战军 苗瑞平(4526)
医疗废物处理中生物指示剂湿热灭菌动力学方程			靳登超	李 阳	鲍振博 刘 娜(4531)
三七渣固态发酵生产康宁木霉生防菌	谭显东	王君君	王 浪	羊依金	郭俊元 彭 兰 覃璐琳(4535)
3 种畜禽粪便产气特性差异分析			陈 芬	李 伟	刘奋武 张吴平 李筱梅 卜玉山(4540)
黑曲霉固态发酵三七渣产纤维素酶			黄 凡	谭显东	胡 伟 羊依金 林巧玉 任晓霞(4547)
常温下好氧颗粒污泥的形成过程及除污性能			姚 力	信 欣	郭 毅 宋 幻 李 姣(4553)
垃圾填埋场 HDPE 膜漏洞密度及其影响因素的统计分析			徐 亚	能昌信	刘玉强 刘景财 董 路(4558)
富集同型产乙酸菌污泥厌氧产酸			王 晋	李习伟	符 波 杨 彦 刘 和(4565)

土壤污染防治

海泡石及其复配原位修复镉污染稻田	梁学峰	韩 君	徐应明	谭适娟	雷 勇 罗文军(4571)
水泥固封镉污染土离子释放规律与微观结构				董祯琴	陆海军 李继祥(4578)

环境生物技术

嗜酸氧化亚铁硫杆菌脱煤矸石中硫影响因素的筛选及条件优化					
.....	赵尚明	何 环	于忠琦	黄冠华	冷云伟 陶秀祥(4585)
高岭土固定 GY2B 优化其降解性能			李跃武	吴平霄	李丽萍 党 志(4591)

环境 监 测

成都市道路细颗粒物污染特征	袁小燕	叶芝祥	杨怀金	张 菊(4598)
基于远程图像色度的点源水质监测方法			李 文	杨守波 罗学科(4603)
海洋石油工程新型溢油监测系统研究	隋迎光	彭吉友	刘志明	任 华(4609)

提高低 C/N 值农村生活污水中 TN 的去除效果

匡武¹ 王翔宇² 周其胤³ 杨远盛¹

(1. 安徽省环境科学研究院, 安徽省污水处理技术研究重点实验室, 合肥 230022;
2. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥 230009; 3. 安徽美自然环境科技有限公司, 六安 237014)

摘要 高负荷渗滤田工艺处理农村生活污水后, 出水中 C/N 值降低, 后续反硝化池由于缺少碳源, 系统出水中 TN 难以稳定达标。研究在不对整个系统构筑物进行大的改造、不增加外购碳源的前提下, 通过后续反硝化池掺混部分调节池原水的措施, 提高了 TN 的去除效率。研究表明, 通过掺混 10% 左右的调节池原水, 系统 TN 的去除效率提高了约 10%, 由 68.2% 提升到了 77.5%。系统出水中各主要指标均可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002) 一级 A 标准要求。系统运行费用低且实验未增加运行成本, 工程可为气候条件相近、水质类似地区农村生活污水的处理提供借鉴。

关键词 农村生活污水 高负荷渗滤田 掺混原水

中图分类号 X703 **文献标识码** A **文章编号** 1673-9108(2015)09-4252-07

Enhancement of TN removal efficiency of rural sewage with low C/N ratio

Kuang Wu¹ Wang Xiangyu² Zhou Qiyin³ Yang Yuansheng¹

(1. Provincial Key Lab. of Reserch on Wastewater Treatment Technology, Anhui Research Academy for Environmental Science, Hefei 230022, China; 2. School of Resources and Environment, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
3. Natural Environment in Anhui Science and Technology Co. Ltd., Luan 237014, China)

Abstract The total nitrogen (TN) concentrations of the the final effluent in the treatment of rural domestic sewage by the high hydraulic loading subsurface infiltration technology are not able to steadily meet the discharge standard, due to the decrease of C/N ratio in the first effluent resulting in the lack of carbon source in the subsequent denitrifying pool. The TN removal efficiency was improved by adding part of the raw wastewater from regulating pond into the subsequent denitrifying pool, without major reconstruction of the system structures and increase of extra carbon source supplement. The results showed that the TN removal efficiency increased by about 10%, from 68.2% to 77.5%, by adding 10% of the raw wastewater of the regulating pond. The main water quality indexes of the final effluent can reach the first class A of Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant (GB 18918-2002). The system has a characteristic of low running expense and no extra opeartion costs, which provides guidance for other rural domestic sewage treatments in the areas of similar climatic condition and wastewater quality.

Key words rural domestic sewage; high hydraulic loading subsurface infiltration system; mixing raw wastewater

目前, 土壤渗滤系统处理污水的应用相当普遍, 美国、日本等发达国家都在大力推行土壤渗滤技术^[1], 进入 20 世纪 90 年代以来, 该技术在国内也得到了迅速发展。但传统的渗滤系统污水负荷能力小, 日处理 1 m³ 污水占地 20 m² 以上, 难以在我国应用和推广。

因此, 如何提高污水土地渗滤处理工艺的负荷

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项项目资助 (2012ZX07103-004/003); 安徽省级环境保护科研项目 (2012-007)

收稿日期: 2015-04-20; **修订日期:** 2015-06-04

作者简介: 匡武 (1972—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 水污染处理技术与水环境生态修复等。

E-mail: kuangwu1972@126.com

是目前国内研究的重点^[2-4]。通过借鉴国内污水处理相关“高负荷、微动力”^[5-7]的研究经验,本文对地下渗滤田工艺处理安徽某地农村生活污水的某污水处理设施进行改进设计,通过微动力曝气、均匀配水等措施提高了系统负荷能力,同时解决了枯草期土地渗滤处理效果不理想和土地渗滤系统容易堵塞的问题。但是,尽管间歇性进水曝气使系统处于厌氧-好氧交替的环境,但由于其厌(缺)氧时间较短,反硝化效果仍然受到很大限制。随着国家对氮、磷处理要求的不断提高,TN的去除,一直是农村生活污水处理的难点与热点。因此高负荷渗滤田工艺处理农村生物污水的另一个重点是,探寻TN处理效率高的后处理工艺并与之集成。本文选择反硝化池与高负荷地下渗滤技术进行集成,通过工程实验并经试验数据分析,寻找提高TN去除效率的途径,并在原工艺基础上,在不影响原有处理效果的前提下,提高农村生活污水中TN的去除效率。

该组合工艺将生物方法和生态方法结合于一体,综合了土地渗滤与反硝化池在有机物去除和TN、TP去除方面的优势,并能实现“高负荷、微动力、全自动”,提高了污水处理效能,主要出水指标中COD、BOD₅、SS、NH₃-N、TN、TP等均可稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A标准,可以纳入国家节能减排计划。

1 项目概况

1.1 污水来源与工艺选择

本文依托于安徽省某集中式农村污水处理工程,该处理站处理规模为600 m³/d。污水主要以当地农村的生活污水为主,混杂部分雨水,该污水有机物浓度较高,其进水水质情况及设计出水标准见表1。

表1 污水处理站进水水质

Table 1 Quality of influent and effluent (mg/L)

	BOD	COD	SS	NH ₃ -N	TP	TN
进水	80~150	150~300	100~200	23~38	2~4	30~45
标准	10	50	10	5(8)*	0.5	15

注:* 括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标。

由表1可知,该村生活污水中氮、磷含量较高,处理时不仅要削减有机物还要进行脱氮除磷^[8]。因此主体工艺需具备脱氮除磷功能,在国内外农村生活污水处理中大多选择生物处理方法如:生物净化槽^[9]、滴滤池^[10]、人工湿地^[11-14]等,但各种单一的

处理工艺在农村生活污水处理方面均存在一定的不足。结合城镇污水处理厂的运行经验^[15],该污水处理站采取高负荷渗滤田工艺作为主体处理工艺,并以反硝化池作为后处理工艺以进一步去除TN。污水通过该组合工艺后,各项污染物均得到有效的去除,可给污水水质类似的农村生活污水处理工程提供借鉴。同时,本文在不改变构筑物结构、不增加投资的条件下,通过掺混部分调节池原水到反硝化池的措施,提高高负荷渗滤田+反硝化池组合工艺TN去除效率,且不降低COD等的去除。并分别按5%、10%、15%的比例掺混调节池原水,研究最佳配水比。

1.2 工艺流程

采用高负荷渗滤田+反硝化池组合工艺对安徽省某地农村生活污水进行处理,工艺流程见图1。

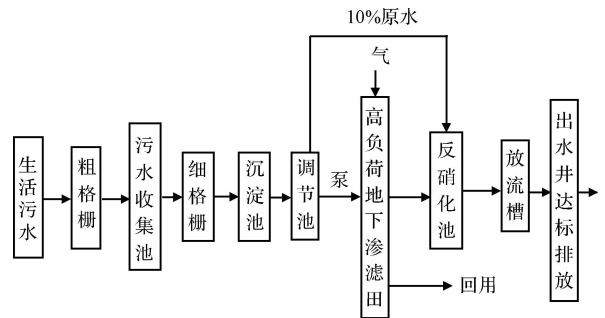


图1 农村生活污水处理工艺流程图

Fig. 1 Flow chart of rural sewage treatment

高负荷渗滤田由“底层”、“渗滤层”、“表层”、“隔离层”构成,采用间歇进水方式,每天8次循环,每轮3 h,污水通过埋在各层中的“进水布水管系”“出水布水管系”“反硝化回流管系”“充氧曝气管系”“冲洗管系”,间歇性散布到各层中,通过类似脉冲进水方式增加污水在横向运移和向下渗滤的路程,从而增加污染物在土壤中的截留量和吸附量。同时采用间歇充氧方式,同样每天8次循环,从而提高微生物分解、转化和去除污染物的能力,使渗滤田负荷显著提高。该系统占地较少,日处理1 t污水仅占地约1.5~2 m²。组合工艺中渗滤田出水满足《农田灌溉水质标准》(GB 5084-2005)中蔬菜类标准,因此可以用于农村菜地的浇灌。

同时,为保证污水处理的效果,冬季通过使用加热风机为渗滤系统充氧,以保证生物处理系统冬季也可保持适宜的温度并得到所需的溶解氧。组合工艺由于电加热的使用,冬季运行费用相对于其他季节稍高。

1.3 主要构筑物参数

(1)粗、细格栅:粗格栅采用锐边矩形栅条格栅,设置在格栅井内,人工清渣,格栅宽为500 mm,栅隙为20 mm,安装角度为70°。细格栅也采用锐边矩形栅条格栅,人工清渣,格栅宽为1400 mm,栅隙为5 mm,安装角度为60°。

(2)初沉池:采用地埋式钢砼结构,尺寸为10.25 m×5.0 m×3.65 m,有效水深为3.2 m,有效容积约164 m³。

(3)调节池:采用地埋式钢砼结构,尺寸为12.0 m×5.0 m×3.65 m,有效水深约3.1 m,有效容积约186 m³。

(4)高负荷渗滤田:采用地埋式砖混结构,三池并联,其中单池尺寸为23.0 m×12.5 m×1.1 m,有效深度约为1.0 m,单池有效容积约288 m³。渗滤田表面水力负荷约0.69 m³/(m²·d)。

(5)反硝化池:采用地埋式钢砼结构,尺寸为5.0 m×5.0 m×3.65 m,有效水深约3.0 m,有效容积为75 m³,水力停留时间约为3 h。

2 实验结果与分析

2.1 实际运行情况

针对目前农村生活污水中TN含量较高,经过高负荷渗滤田处理后,其污水中C/N值低、后续反硝化池因缺乏碳源而致TN去除效率不高的问题,进行一系列的实验研究。结果表明,在不对整个构筑物进行大的改造(不增加工程投资或增加很少)、不增加外购碳源(不增加运行成本或增加很少)的条件下,通过在后续反硝化池掺混部分调节池原水的措施,可提高系统TN去除效率。

该污水处理站在2013年8月的各段实际进、出水水质见表2。

由表2可知,进水TN和NH₃-N浓度较高,C/N为6.7,BOD₅/TN值为3.3。在此进水条件下,系统对BOD₅、COD、SS及NH₃-N的去除效果良好,其中对NH₃-N的去除率达到87%。但出水TN浓度较

高,反硝化池对TN的去除率仅为25%,整个系统对TN总的去除率约为68.2%。根据该污水处理站的水质监测数据和运行参数进行分析,出水TN浓度较高的原因可能是:①根据表2及后面的表3可知,进水TN中氨氮占比高,而在出水中氨氮仅占30%,说明硝化效果良好,而反硝化效果不理想;②反硝化池进水C/N值较低仅为1.9,BOD₅/TN值仅为0.78。因此,反硝化效果不理想主要是由于污水经过高负荷渗滤田处理后成为低C/N、低BOD₅/TN值的污水,缺乏反硝化菌所需的有机碳源造成的。

针对低C/N值污水,国内外进行了多方面的实验研究,主要方法为:①外投碳源如添加葡萄糖^[16-18],甲醇^[19]。添加碳源能同时提高体系对NH₃-N、TN的去除效果,但费用较高;②设置氨气吹脱池^[20],通过去除氨氮的方式降低C/N比,这种方法容易造成二次污染,需要增添氨气收集装置,可以作为辅助手段,在氨氮含量超过500 mg/L时开启;③外加未经消化的原水^[21-23],提高C/N比。张智等^[21]研究发现,用两级A/O处理奶牛场厌氧消化液,C/N在1.7~2.6,BOD₅/TN在0.77~1.32时,TN去除可达到40%~60%。而通过添加原污水提高农村生活污水的TN处理效果的例子,并不多见。

针对反硝化池进水C/N值低、BOD₅/TN值低而NH₃-N浓度较高的水质特征,在不加外购碳源的情况下,我们选择通过从调节池抽提不同配比原水的方式,以3种不同的配比方案配入反硝化池,并监测出水效果。

(1)方案1:提升5%调节池的原水配入反硝化池。

(2)方案2:提升10%调节池的原水配入反硝化池。

(3)方案3:提升15%调节池的原水配入反硝化池。

2.2 效果分析

选取不同方案下系统稳定运行后(方案实施后约15~20 d后,此时系统运行已趋于稳定),具有代

表2 系统各段进出水水质
Table 2 Quality of influent and effluent of denitrifying tank

项目	BOD ₅	COD	SS	NH ₃ -N	TP	TN
系统进水	80~150	150~300	100~200	23~38	2~4	30~45
渗滤田出水	18.9~21.1	36.6~40.6	13~17	4.0~5.0	0.4~0.5	15~20
总出水	4.8~6.0	20~27	7~9	3.3~4.6	0.4~0.5	13~17
标准	10	50	10	5(8)	0.5	15

(mg/L)

表性的连续5 d反硝化池进、出水TN浓度实验检测数据作图。实验结果见图2(其中第1~5天为未整改前系统运行稳定后的连续5 d监测值,第6~10天为方案1实施后系统运行稳定后的连续5 d监测值,第11~15天为方案2数据,第16~20天为方案3数据)。

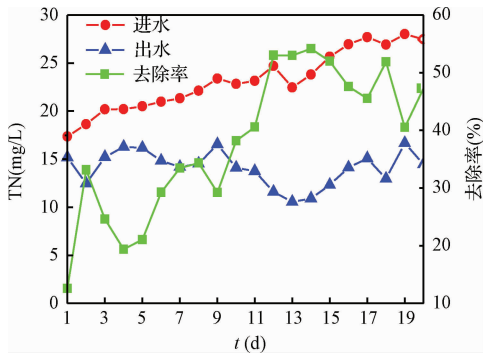


图2 工艺调整前后反硝化池对TN的去除效果
Fig. 2 Removal efficiency of TN before and after adjusting process parameters

(1)方案1:由图中数据可知,系统的TN的去除率有了明显提升,但是TN出水浓度还是在15 mg/L以上,在进水TN浓度较高的情况下,出水TN仍然超标,不能稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A标准要求。这是因为反硝化池中虽然补充了部分C源,但C源依然不足(此时硝化池进水B/C约为0.43,C/N约为2.2,BOD₅/TN约为0.95),尚不能达到污水处理目标效果要求。

(2)方案2:由图中数据可知,随着加入10%的原水,TN的去除效率进一步提高,出水TN稳定降低到15 mg/L以下,反硝化池对TN的去除效率由25.2%提升到48.2%(连续5 d平均值),TN去除效率大幅度提高,系统TN总的去除率提升约10%(连续5 d平均值),达到77.5%。并且对其他出水指标没有太大的影响(见表3),仍能稳定达到排放标准要求。

(3)方案3:由图2中数据可知,出水中TN不能稳定达到设计标准要求,这是因为配入反硝化池的污水中又带来了较多的氨氮,虽然碳源补充量有所增大,经渗滤田硝化处理后的硝酸盐与亚硝酸盐(硝态氮)在此反硝化程度较好(被还原为气态氮(N₂)),但较多未经硝化的氨氮难以成为受电体而得到去除,进而影响到系统出水TN指标甚至对出

水氨氮指标也将带来不利影响。

由图2可知,TN的去除效率,随着掺混原水量的提升而呈现出先升高后降低的规律。这说明,掺混原水的量,提升到一定程度后如继续提高,则会超出反硝化池的负荷;并且随着掺混原水比例的增加,其他污染物指标也会因失去前段渗滤田的处理而出现不同程度的去除效率降低的问题。结合实验结果分析可知,相较于实验原水而言,往渗滤田后续反硝化池掺混10%左右调节池原水的措施是相对最佳的实验结果。

掺混10%原水后,硝化池进水水质情况见表3(表中数据为系统稳定运行后连续5 d的平均值),通过添加原水,硝化池进水B/C由0.41提升到0.49,可生化性变好,C/N由1.9提升到2.8,BOD₅/TN由0.78提升到1.30,为反硝化池提供了更多的可生物利用的有机碳源。

表3 掺混10%原水后主要构筑物进水水质

Table 3 Influent quality of main structures

项目	after adding 10% raw water (mg/L)					
	COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	TN (mg/L)	B/C	BOD ₅ /TN	C/N
调节池	256	135	42	0.53	3.21	6.1
反硝化池(未掺混前)	32.5	13.2	17	0.41	0.78	1.9
反硝化池(掺混后)	54.8	25.3	19.5	0.49	1.30	2.8

掺混10%原水后,整个污水处理系统进、出水水质情况见表4(表中总出水数据为掺混原水后且在系统稳定运行后连续5 d的监测范围值)。由表4可知,尽管污水原水中各污染物浓度的变化范围较大,但是高负荷渗滤田+反硝化池组合工艺的污水处理系统出水仍能稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A标准要求,说明经过实验优化后的组合工艺具有很强的耐冲击负荷能力。

反硝化池池容的设计除了应满足水力停留时间(2~4 h)要求外,还与设计处理水量、进水凯氏氮及出水总氮要求、污泥浓度及脱氮速率等因素有关。从理论上来说,反硝化1 mg的硝酸盐氮约需消耗2.86 mg的碳源。而通过掺混10%左右的调节池原水配入反硝化池,提升了污水C/N值(从1.9提升到2.8)、BOD₅/TN值(由0.78提升到1.30),改善了硝态氮等受电体的还原条件,TN去除效率得到了稳定的提高。由表2、表3、表4对比可知,工艺调整

表4 掺混10%原水后系统进出水水质

Table 4 Quality of influent and effluent after adding 10% raw water

(mg/L)

项目	BOD ₅	COD	SS	NH ₃ -N	TP	TN
系统进水	80~150	150~300	100~200	23~38	2~4	30~45
调节池	70~135	128~256	20~40	21~35	2.2~3.7	27~42
渗滤田出水	10~13.2	25~32.5	10~13	3.8~4.3	0.2~0.4	13~17
总出水	5~10	25~33	6.8~8.9	4.1~4.9	0.3~0.5	8~14

后,污水中的TN由来水的30~45 mg/L降低到了出水中的8~14 mg/L,系统对TN的去除效率(按均值计)由68.2%提升到了77.5%,出水TN稳定地降低到了15 mg/L以下,去除率提升约10%左右。污水中COD、BOD₅、SS、NH₃-N和TP的平均去除率分别达到90.6%、94.8%、92.2%、90.2%和91.1%,掺混原水实验未影响到其他出水指标的稳定性。系统出水中主要指标均可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A标准要求。

3 经济效益分析

高负荷渗滤田+反硝化池组合工艺在处理该农村生活污水(600 m³/d)的实际运行中,春、夏、秋三季平均每天耗电总量约16 kWh,即处理每吨污水的电耗约为0.08 kWh,电费约为0.056元(按0.7元/kWh电计);冬季因加热需要每天运行耗电约为60~80 kWh,即处理每吨污水电耗为0.12~0.16 kWh电,吨水电费为0.084~0.108元。系统采用PLC系统进行控制,可实现远程操控,可由村里安排人员兼职看护,人工费较低。系统未设加药设施,不涉及药剂费用。综上,该组合工艺处理每吨农村生活污水的平均运行费用冬季约为0.10元;非冬季约0.06元。本次实验利用调节池内置的潜污泵,设置出水旁路系统,通过管道阀门和流量计控制掺混比例,未增加运行成本。

4 结语

(1)高负荷渗滤田工艺处理农村生活污水后,由于出水中C/N值降低,后续反硝化池由于缺少碳源,系统出水中TN难以稳定达标。研究在不对整个系统进行大的改造、不增加外购碳源的前提下,通过后续反硝化池掺混部分调节池原水的措施,提高TN的去除效率。研究结果表明,对本案例而言,通过掺混10%左右的调节池原水配入反硝化池,提升了污水C/N值(从1.9提升到2.8)和BOD₅/TN值

(由0.78提升到1.30),系统TN的去除效率提高了约10%,由68.2%提升到了77.5%。

(2)系统采用高负荷渗滤田工艺作为主体处理工艺,并以反硝化池(掺混部分原水)作为后处理工艺进一步去除总氮。实验优化后的组合工艺抗冲击负荷能力强,出水各主要污染物指标可稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A标准要求。

(3)采用高负荷渗滤田+反硝化池(掺混部分原水)组合工艺处理农村生活污水,系统具有高负荷、微动力、全自动的特点,日常运行费用低。实验利用调节池潜污泵出水旁路系统,通过管道阀门和流量计控制掺混比例,未增加运行成本。高效、低运行费用的污水处理工艺,有效缓解了农村污水处理站“建得起,养不起”的矛盾。工程可为气候条件相近、水质类似地区农村生活污水的处理提供借鉴。

参考文献

- [1] 王书文,刘庆玉,焦银珠,等. 生活污水土壤渗滤就地处理技术研究进展. 水处理技术, 2006, 32(3): 5-10
Wang Shuwen, Liu Qingyu, Jiao Yinzhong, et al. The latest progress in soil infiltration treatment of sewage in situ. Technology of Water Treatment, 2006, 32(3): 5-10 (in Chinese)
- [2] 郑彦强,卢会霞,许伟,等. 地下渗滤系统处理农村生活污水的研究. 环境工程学报, 2010, 4(10): 2235-2238
Zheng Yanqiang, Lu Huixia, Xu Wei, et al. Study on rural sewage treatment by subsurface infiltration system. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2010, 4(10): 2235-2238 (in Chinese)
- [3] 段增强,段婧婧,耿晨光,等. 园林地慢速渗滤系统处理农村分散式生活污水. 农业工程学报, 2012, 28(23): 192-199
Duan Zengqiang, Duan Jingjing, Geng Chengguang, et al. Garden slow percolation system for processing rural distributed wastewater. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(23): 192-199 (in Chi-

- nese)
- [4] 郭振苗. 农村生活污水土壤渗透过程中氮素运移试验研究. 北京: 清华大学硕士学位论文, **2012**
Guo Zhenmiao. Experimental study of nitrogen transportation in soil percolation process of rural wastewater treatment. Beijing: Master Dissertation of Tsinghua University, **2012** (in Chinese)
- [5] 刘贵彩. 微动力一体化折流板反应器处理高浓度生活污水的试验研究. 西安: 长安大学硕士学位论文, **2011**
Liu Guicai. Study on treatment of high concentration domestic sewage by micro-power integrate baffle plate reactor. Xi'an: Master Dissertation of Chang'an University, **2011** (in Chinese)
- [6] 杨勇, 杨向阳, 葛昕, 等. 组合式微动力回流高效净化技术处理农村生活污水的研究与应用. 安徽农业科学, **2013**, 41(27): 11103-11104
- [7] 陈钊, 伍万云. 宣城市农村生活污水处理模式及效益分析. 现代农业科技, **2014**, (17): 243-244
Chen Fang, Wu Wanyun. Xuancheng City in rural sewage treatment Patterns and benefit analysis. Modern Agricultural Science and Technology, **2014**, (17): 243-244 (in Chinese)
- [8] 赵素芬, 周仲魁, 胡小英. 复合床人工湿地处理生活污水的实验研究. 武汉科技大学学报(自然科学版), **2006**, 29(2): 172-175
Zhao Sufen, Zhou Zhongkui, Hu Xiaoying. Sanitary sewage treatment by compound constructed wetland. Journal of Wuhan University of Science & Technology (Natural Science Edition), **2006**, 29(2): 172-175(in Chinese)
- [9] 张增胜, 徐功娣, 陈季华, 等. 生物净化槽/强化生态浮床工艺处理农村生活污水. 中国给水排水, **2009**, 25(9): 8-11
Zhang Zengsheng, Xu Gongdi, Chen Jihua, et al. Biological purification tank/enhanced ecological floating rafts process for treatment of rural domestic sewage. China Water & Wastewater, **2009**, 25(9): 8-11(in Chinese)
- [10] 戴世明, 白永刚, 吴浩汀, 等. 滴滤池/人工湿地组合工艺处理农村生活污水. 中国给水排水, **2008**, 24(7): 21-24
Dai Shiming, Bai Yonggang, Wu Haoting, et al. Combined process of trickling filter and constructed wetland for rural domestic wastewater treatment. China Water & Wastewater, **2008**, 24(7): 21-24(in Chinese)
- [11] 李海明. 农村生活污水分散式处理系统与实用技术研究. 环境科学与技术, **2009**, 32(9): 177-181
Li Haiming. Distributed rural sewage treatment system and practical technology. Environmental Science & Technology, **2009**, 32(9): 177-181(in Chinese)
- [12] Ye Changbing, Li Lan, Zhang Jinjin, et al. Study on ABR stage-constructed wetland integrated system in treatment of rural sewage. Procedia Environmental Sciences, **2012**, 12: 687-692
- [13] Ye Fenxia, Li Ying. Enhancement of nitrogen removal in towery hybrid constructed wetland to treat domestic wastewater for small rural communities. Ecological Engineering, **2009**, 35(7): 1043-1050
- [14] 龙翠芬, 郑离妮, 唐晓丹, 等. 农户庭院型人工湿地对农村生活污水的净化效果. 环境工程学报, **2012**, 6(8): 2560-2564
Long Cuifen, Zheng Lini, Tang Xiaodan, et al. Removal efficiencies of rural domestic sewage in household-type constructed wetlands. Chinese Journal of Environmental Engineering, **2012**, 6(8): 2560-2564(in Chinese)
- [15] 刘杰, 郑西来, 高超, 等. 城镇污水处理厂用地、运行及建设费用研究. 环境工程学报, **2010**, 4(11): 2522-2526
Liu Jie, Zheng Xilai, Gao Chao, et al. Study on area, operating and construction costs of urban wastewater treatment plants. Chinese Journal of Environmental Engineering, **2010**, 4(11): 2522-2526(in Chinese)
- [16] 张冰, 贾晓竞, 杨海真. 一体化空气提升SBR处理低C/N农村生活污水研究. 水处理技术, **2014**, 40(10): 63-66
Zhang Bing, Jia Xiaojing, Yang Haizhen. The pilot study of an integrated system in treating low concentration domestic wastewater in rural area. Technology of Water Treatment, **2014**, 40(10): 63-66(in Chinese)
- [17] Yang Zhaohui, Gao Feng, Zheng Guangming, et al. Removing the nitrogen from highly nitrogenous piggery wastewater via nitrite. Journal of Basic Science and Engineering, **2004**, 12(2): 161-168
- [18] 谢婷, 莫创荣, 李小明, 等. 不同葡萄糖和乙酸比对强化生物除磷系统的影响. 水处理技术, **2014**, 40(11): 37-42
Xie Ting, Mo Chuangrong, Li Xiaoming, et al. Effect of different concentration ratios of glucose to acetate on phosphorus removal and the microbial community in EBPR systems. Technology of Water Treatment, **2014**, 40(11): 37-42(in Chinese)
- [19] 熊鸿斌, 夏晓宇, 王玉芳, 等. 低C/N值城市污水处理厂出水达标的运行条件优化. 中国给水排水, **2013**, 29(1): 92-96
Xiong Hongbin, Xia Xiaoyu, Wang Yufang, et al. Optimization of operating conditions of low C/N ratio municipi-

- pal sewage treatment plant for meeting discharge standard. *China Water & Wastewater*, **2013**, 29 (1): 92-96 (in Chinese)
- [20] 李勇. Fenton-氨吹脱-SBR 处理畜禽粪尿厌氧消化液的试验研究. 长沙: 湖南农业大学硕士学位论文, **2012**
- Li Yong. Study on Fenton- ammonia stripping-SBR treatment of anaerobic digestion water of Livestock feces. Changsha: Master Dissertation of Hunan Agricultural University, **2012**
- [21] 张智, 毕生兰, 余薇薇. 两级 A/O 工艺处理奶牛养殖低 C/N 沼液试验研究. *给水排水*, **2012**, 38 (1): 134-137
- Zhang Zhi, Bi Shenglan, Yu Weiwei. Two-stage A/O process for treatment of biogas slurry from dairy farm. *Water & Wastewater Engineering*, **2012**, 38 (1): 134-137 (in Chinese)
- [22] 邓良伟, 郑平, 李淑兰, 等. 添加原水改善 SBR 工艺处理猪场废水厌氧消化液性能. *环境科学*, **2005**, 26 (6): 105-109
- Deng Liangwei, Zheng Ping, Li Shulan, et al. Performance improvement of sequencing batch reactor (SBR) treating digested piggery wastewater by addition of raw wastewater. *Environmental Science*, **2005**, 26 (6): 105-109 (in Chinese)
- [23] 邓良伟, 郑平, 陈子'ai. Anaerobic digestion and post-treatment of swine wastewater using IC-SBR process with bypass of raw wastewater. *Process Biochemistry*, **2006**, 41 (4): 965-969