

石宝镇自然排水沟渠对生活污水的净化效果 及其改造强化方案探讨

邹建勇, 方芳, 郭劲松, 王磊, 肖敏
(重庆大学城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要:以重庆忠县石宝镇的一条天然沟渠为研究对象,通过现场采样和实验室检测分析,探讨了山地天然沟渠对城镇生活污水的净化效果和机理。结果表明:天然沟渠对 COD_{Cr} 、TN、TP 的去除率分别为 47.6%、20.6%、18.9%;通过对进出水的污染物存在形态的分析表明山地天然沟渠对污染物的去除主要以颗粒态拦截、吸附为主,对 PN、PP 去除率分别为 60.6%、49.6%。同时研究指出山地沟渠由于流速大,不利于形成生物膜,对污染负荷的削减受到限制。在此基础上提出了一套结合沟渠优化改造和塘-湿地串联处理城镇生活污水的工艺,以期得出一条有效削减城镇生活污水污染负荷的思路和实用途径。

关键词: 山地沟渠; 自然净化; 城镇污水; 强化改造

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-2842(2009)03-0009-04

The Purification and Optimize Design about Upland Natural Ditch with Urban Wastewater in Shibao Town

ZOU Jian-yong, FANG Fang, GUO Jin-song, WANG Lei, XIAO Min

(Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045)

Abstract: Analyzed the purification effect and mechanism of a process that treats with urban wastewater in a upland natural ditch, by the way of on-site sampling and laboratory testing. The study shows that: the removal of COD_{Cr} , TN, TP were 47.6%, 30.0% and 18.9%, respectively. Through the analysis about the existence of pollutants in the inlet and outlet wastewater we can obtain that the main way of pollutants removal in the upland ditch is particulate-intercept and adsorption. The removal rates of PN, PP were 60.6% and 49.6%, respectively. The writer trying to make a technology that combines the ditch optimization and pond-wetlands in series based on the study, which can be used to treat the urban domestic wastewater and lessen the pollution load effectively.

Key words: upland ditch, natural purification, urban wastewater, optimal design

当前我国小城镇发展迅速,由于原有基础设施缺失,绝大多数城镇没有完善的排污管网;又因为与农区有一定距离,难以通过农田施肥消解城镇生产、生活产生的固液废弃物。山地型天然沟渠在三峡库区非常普遍,许多小城镇将此类沟渠与城镇暗渠明渠相连,将生活污水排入渠道,通过沟渠排入长江。由于三峡蓄水后,水位抬升使沟渠和水体的直线距

离减小,污染物在输送过程中的降解能力被削弱,致使村镇污水的威胁被进一步放大。

国内关于沟渠净化能力的研究已经取得了一定进展,但主要集中在沟渠对农业面源污染负荷的拦截与削减;其对小城镇生活污水的净化能力研究目前较少。已有研究主要集中在长江中下游地区,侧重平原水网沟渠净化能力的研究^[1],三峡库区山地地形的自然沟渠生态净化能力的研究鲜见报道,其净化容量和关键影响因素尚不清楚。因此对山地沟渠湿地去除污染物机理及关键性影响因素进行研究,进而合理改造山区自然沟渠,使之能更有效地削减村镇污染负荷具有现实意义。

收稿日期: 2008-12-24

基金项目: 国家科技支撑计划子课题(2006BAJ08B01-03),中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-07-02),重庆市科技攻关计划项目(CSTC, 2008AB7083)

作者简介: 邹建勇(1985-),男,安徽枞阳人,硕士研究生,主要从事水污染控制理论与技术研究, E-mail: zjy850208@163.com。

1 材料与方法

1.1 试验系统

实验沟渠位于石宝镇西面,是该镇排水暗渠的一个主要出水口,全长 120 m。多年来,附近居民和

石宝中学的生活污水通过沟渠直接排入长江,渠水多白色泡沫且泛着臭味,蚊蝇滋生,对周围环境影响严重。本文根据沟渠的地貌特征,由上而下分将其为五个部分;具体特征如下表所示。

表 1 天然沟渠特征描述

分段	长度/m	断面宽度/m	水深/cm	跌落	沟渠内部特征
跌落Ⅰ区	30	0.1- 1.5	1~ 5	5 处	底部为巨大岩石,些许垃圾,生物膜丰富,呈灰黄色,底部无土壤和植被,水流较急
暗流区	30	0.1- 0.3	3~ 10	无	底部和沟渠内部多巨大岩石,水在多块石头缝隙中和底部流动,坡度均匀
缓流Ⅰ区	35	0.5- 0.7	2~ 13	无	底部为碎石、土壤和小块青石,沟渠坡度平缓,渠道规整,部分沟段有水花生
跌落Ⅱ区	15	0.1- 1.0	3~ 13	5 处	底部为巨大岩石,水在石头表面流动,水流较急,无明显生物膜,底部无土壤和植被
缓流Ⅱ区	13	0.5- 1.2	2~ 6	无	底部平缓,既有大块岩石,也有很多碎石,无明显生物膜,底部无土壤和植被

注:跌落指落差在 0.5 m 及以上的跌落

通过上表可知,此类沟渠跌落较多,始段与末段地势落差大,沟渠内部多为石块,基本没有植物,生物膜也较少,没有土壤,水流流速快。

1.2 试验方法

于 2008 年 10 月至 12 月三个月间对天然沟渠来水和 5 个分段出水进行监测。11 月 4 日后,由于三峡工程蓄水,沟渠后两段被淹没,未能监测。测试项目有 pH、COD_{Cr}、NH₄⁺-N、NO₂⁻-N、NO₃⁻-N、TN、DN、TP、DP、PO₄³⁻-P。各指标按国家标准^[2]进行分析。现场测试水温、DO。COD_{Cr}用重铬酸钾法测定。TN、DN(Dissolved Nitrogen) 用过硫酸钾

氧化紫外分光光度法测定; TP、DP(Dissolved Phosphorus)、PO₄³⁻-P 用钼酸铵分光光度法测定; NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、NH₄⁺-N 分别用紫外分光光度法、N- 乙二胺盐酸盐分光光度法、纳氏试剂比色法测定。由于 TN 由 DN 和 PN(Particle Nitrogen) 组成,而 DN 一般分为 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、DON(Dissolved Organic Nitrogen) 四部分; TP 由 DP 和 PP(Particle Phosphorus) 组成,其中 DP 一般分为 PO₄³⁻-P 和 DOP(Dissolved Organic Phosphorus) 两部分,所以 PN、PP 通过差减法得出具体的数值。沟渠的来水水质如表 2。

表 2 沟渠进水水质

项目	pH	COD _{Cr}	TP	TN	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N
均值	7. 91	169. 26	3. 05	37. 75	25. 07	1. 45	0. 20
范围	7. 61~ 8. 22	73. 61~ 246. 03	1. 48~ 4. 09	25. 26~ 48. 64	14. 03~ 35. 09	0. 31~ 5. 50	0. 11~ 0. 52

2 实验结果与讨论

2.1 COD、TN、TP 去除效果

如图 1 所示,天然沟渠对 COD、TN、TP 沿沟渠水流方向都有一定去除效果, COD、TN、TP 的进水平均浓度分别为 169. 26、37. 75、3. 05 mg/ L; 出水平均浓度分别为 88. 77、29. 97、2. 48 mg/ L; 去除率分别为 47. 6%、20. 6%、18. 9%。对 COD 的去除效果最好,且各段中暗流段对各指标的去除率最高。

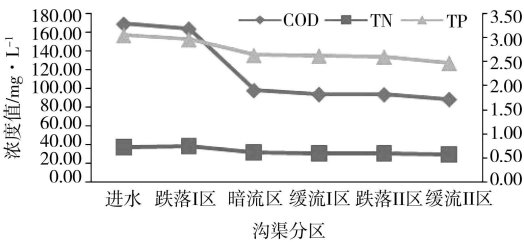


图 1 天然沟渠对 COD、TN、TP 去除效果

2.2 氮素去除及形态转化

原水中氮元素主要表现为 DN, 占到 80% 左右,

DN 的进出水浓度分别为 31.06 mg/L、27.33 mg/L,去除率为 12.0%;PN 的进出水浓度为 6.69 mg/L、2.24 mg/L,去除率为 60.1%,PN 的去除效果较好。沟渠对氮素的去除主要以截留、吸附为主,这跟沟渠的停留时间短有很大关系。

表 3 沟渠各段氮元素去除效果							
沟渠	TN	DTN	PN	$\text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^- - \text{N}$	$\text{NO}_2^- - \text{N}$	C/N	
进水	37.75	31.06	6.69	25.07	1.45	0.20	4.48
跌落I区	39.11	31.78	7.33	26.56	1.72	0.22	4.19
暗流区	32.19	28.23	3.97	22.38	1.98	0.33	3.05
缓流I区	31.35	28.13	3.21	21.31	1.78	0.32	3.00
跌落II区	31.43	27.89	3.54	21.75	1.99	0.41	2.99
缓流II区	29.97	27.33	2.64	20.10	1.35	0.45	2.96

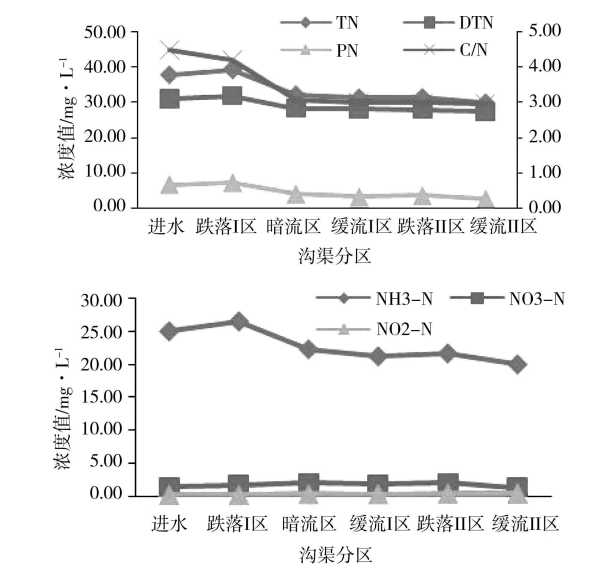


图 2 沟渠的 N 去除情况

由图 2 可以看出,除跌落 I 区 TN 浓度略有升高外,水流中总氮浓度随沟渠延长逐渐减小。沟渠系统中总氮的去除机理是多样的,包括吹脱、硝化、反硝化、植物摄取和基质吸附^[3]。跌落 I 区的停留时间过短,而水流过急可能使沉积底泥再次释放^[4],导致跌落 I 区的总氮浓度有上升趋势。因此水流流程和停留时间越长,脱氮效果越好。同时可以看出暗流区脱氮效果较好,TN 去除效果为 17.7%。

表 4 沟渠 P 去除效果					
沟渠	TP	DTP	PP	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$	pH
进水	3.05	2.23	0.82	1.94	7.91
跌落I区	2.97	2.20	0.81	1.95	7.80
暗流区	2.64	2.05	0.59	1.80	7.73
缓流I区	2.63	2.06	0.56	1.82	7.78
跌落II区	2.61	2.05	0.56	1.78	7.98
缓流II区	2.48	2.06	0.42	1.80	7.93

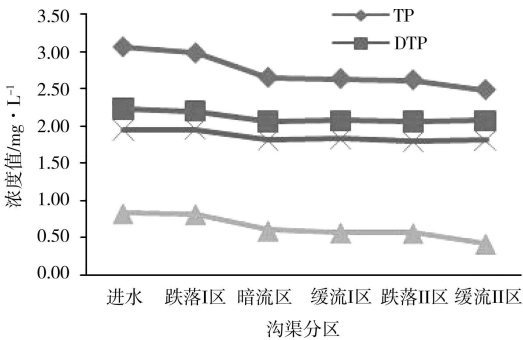


图 3 沟渠对 P 的去除效果

由图 3 可知,原水中氮元素的大部分表现为 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 只占很小一部分;且在整个去除过程中, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的浓度下降幅度较大, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的浓度略有下降, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 的浓度沿程略有上升。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 浓度变化幅度很小,进水和出水相差不大,维持在一个稳定的范围内。沟渠由于停留时间短,硝化反硝化能力有限;由此可知,在氮素的去除过程中,主要以吹脱为主。

反硝化作用是耗能过程。Lin 等^[5]认为,当 C/N 为 3.5 时,脱氮效果最好。Matsumoto 等^[6]认为这个比例可达 5.25,而侯红娟等^[7]研究发现,进水 COD 浓度分别为 150 mg/L 和 200 mg/L 左右时,脱氮率随 C/N 值的增加而增加。过低的有机质会限制反硝化反应,从而影响 TN 的去除率。本实验中进出水 C/N 分别为 4.48 和 2.96,基本满足常规工艺对 C/N 比的要求,可以考虑后续改造中加入湿地等常规处理工艺。

2.3 磷素的去除效果

TP、DP、PP、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的进水平均浓度分别为 3.05、2.23、0.82、1.94;出水平均浓度分别为 2.48、2.06、0.42、1.80,总的去除率分别为 18.9%、7.5%、49.6%、7.4%。可见,对 P 的去除主要以 PP 形态为主,且去除效果主要集中在暗流区和缓流 II 区,去除效果分别为 27% 和 25%。天然沟渠在某种程度上也可以被认为是沟渠湿地,其对污水中磷的去除主要包括三条途径:填料的吸附沉淀作用、植物的吸收作用和微生物的转化吸收作用^[8]。暗流区和缓流 II 区由于水流速较慢、停留时间较长,处理效果较好。吸附在固体悬浮颗粒上的磷随颗粒沉降在湿地中,或被湿地基质所截留而蓄存在湿地基质中,因而 P 的去除主要以颗粒态吸附、过滤为主;而对 DP 的去除效果不高则与沟渠湿地内植物较少有关。这与席北斗等^[9]研究沟渠湿地人工湿地除磷主要靠湿

地填料对磷吸附沉降的研究结果一致。

沟渠对 P 的去除效率跟 pH 值有关,在碱性湿地基质中湿地长期蓄磷的主要形式是有机磷和钙磷;天然沟渠水质整体呈弱碱性,对无机磷的去除很有帮助。水体中的无机磷可以被方解石、黏土矿物、有机金属化合物、铁铝氧化物以及水合氧化物所吸附,通过与基质间隙水中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 等离子及其水合物、氧化物反应,形成难溶性化合物,或带负电的磷酸根与基质表面水合的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 等金属离子发生交换而被结合到基质的晶格中去除的。

2.4 DO 变化规律及有机物的去除效果

跌落区 I 和跌落区 II 都有 5 个落差大于 0.5 m 的跌落,对污水有很好的充氧效果,其中跌落 I 区使 DO 从 2.57 升至 4.88;跌落 II 区使 DO 由 2.91 升至 6.25。暗流段由于缺氧环境,加上有机物氧化,硝化反应耗氧导致溶解氧下降。

各段 DO 的变化及对 COD_{Cr} 的去除效果图 4 所示。沟渠对 COD_{Cr} 的去除效率为 47.6%,其中暗流区的去除效果最好,单段的去除效率达到 40.0%。

由图上看可知,暗流段的 DO 下降与 COD 的下降趋势平行,表明沟渠内部有微生物存在,对有机物有氧化作用。其他段对有机物的去除效果不佳,归其原因是沟渠流速较大且不利于形成生物膜,氧化效果不好。

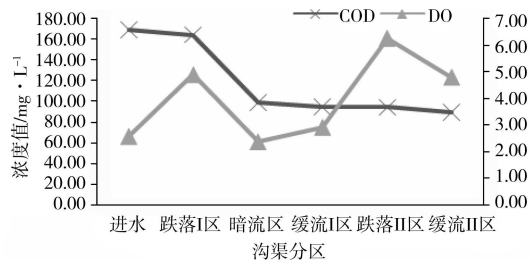


图 4 沟渠 COD_{Cr} 去除效果及 DO 变化规律

3 对沟渠生态改造的讨论

山地型沟渠因地形跌落有充氧丰富的特点,因而可以利用地形建成无动力的污水处理设施;但天然沟渠停留时间不足,对 N 和 P 的去除效果不明显。针对以上的特点,笔者提出依托三峡库区山地型天然沟渠的以下强化方案。



图 5 天然沟渠改造工艺流程图

格栅对原水的较大悬浮物进行拦截。考虑到下雨时候雨量过大,修筑分流堰进行分流。利用旁边一块空地修建碎石床,对较小的悬浮物或较大颗粒的有机物进行拦截,吸附。出水由跌水进入沉砂池,进而进入稳定塘。稳定塘的停留时间控制在 12 h 左右。稳定塘出水进入沟渠,在沟渠内部坑洼处进行填料挂膜,强化接触氧化,出水进入人工湿地。人工湿地是由原沟渠缓流区拓宽而来。同时对沟渠内部进行跌水优化,使跌水分散,充氧效果更好。

针对天然沟渠提出的改造工艺,着重在优化天然沟渠跌水效果,增加天然沟渠停留时间,发挥塘-湿地串联系统对污染物的去除优势。其中沟渠优化改造主要体现在优化跌水和强化接触氧化。塘系统内部兼有好氧、兼氧、厌氧的环境,对污染物质特别是大分子有机物进行降解和去除。湿地依托山地地势,各级呈梯田形式,该类型湿地特点是能实现水体自动复氧,使整个系统形成交替的好氧厌氧环境;整个湿地系统相当于多级串联的 O/A/O/A 池,从而实现对生活污水的梯级净化。

4 结论

对山地型天然沟渠净化小城镇污水效果的观测表明:

1) 沟渠对 COD_{Cr} 、TN、TP 的去除率分别为 47.6%、20.6%、18.9%。对 COD 的去除效果最好,且各段中暗流段对各指标的去除率最高。天然沟渠对 N 的去除主要以颗粒态为主。沟渠内部有硝化反硝化能力,但对 NH_4^+-N 的去除主要以吹脱为主。天然沟渠对 P 的去除主要以颗粒态吸附、过滤为主,且去除效果主要集中在暗流区和缓流 II 区,对 DP 的去除效果不高。

2) 山地天然沟渠有很好的跌水曝气效果,跌水曝气效果与跌落的高度和水流分散程度有关。沟渠内部有微生物存在,对有机物的去除效果与 DO 有关;由于流速过快,停留时间过短,不利于形成生物膜,因而影响处理效果。

3) 山地天然沟渠由于其地势落差大,充氧效果 (下转第 19 页)

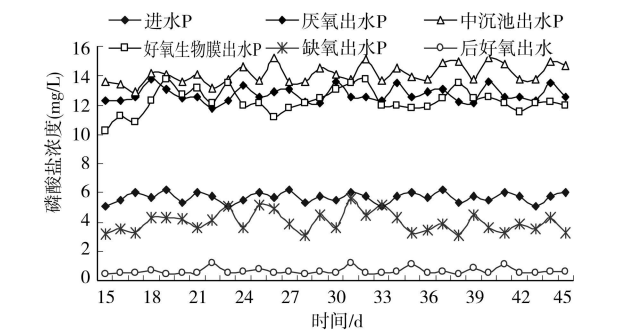


图7 DNP-MSBR 工艺系统磷酸盐处理效果

定,为缺氧段吸磷提供了足够的内碳源,同时也降低了好氧区的COD负荷;中沉池完成泥水分离后,上清液进入生物膜硝化区,此时硝化池进水的C/N在5左右。由于进水在厌氧区经序批SBR反应区回流的混和液稀释,氨氮负荷降低,在控制DO为5~6 mg/L的条件下,硝化区保持了较高的硝酸盐产率,为缺氧段反硝化吸磷提供了大量的硝酸盐,使得缺氧区可以达到平均75%的缺氧吸磷效果,吸磷量和脱氮量比接近1:1;后好氧序批SBR反应区完成对余磷的吸收,整个反应系统出水达标。

3 结论

1) DNP-MSBR 工艺本身可以有效地适应低进水C/P,保证反硝化区具有较高的反硝化率。

2) DNP-MSBR 工艺序批区的控制HRT为1.5 h、曝气时间1 h以及DO3~4 mg/L时,可以保证系统除磷效率。

3) DNP-MSBR 系统稳定运行条件下,保证硝化区硝酸盐产率,缺氧区取得了最大75%的反硝化吸磷效果, DNP-MSBR 新型反应工艺取得了最大90%以上的除磷效果。

参考文献:

[1] 王亚宜,彭永臻,王淑莹.反硝化除磷理论、工艺及影响因素[J].中国给水排水,2003,19(1):33-36.

[2] 王亚宜,彭永臻.A₂N反硝化除磷脱氮工艺以及影响因素[J].中国给水排水,2003,19(9):8-11.

[3] 李桂平,周增炎.复合式活性污泥-生物膜反应器硝化能力研究[J].重庆环境科学,2003,25(6):35-37.

[4] Wang BZ, Li J. Mechanism of phosphorus removal by SBR submerged biofilm system[J]. Water Reaserch, 1998, 32(9): 12-15

[5] 王志盈,袁林江,彭党聪.内循环生物流化床硝化过程的选择特性研究[J].中国给水排水,2000,16(4):1-4.

[6] 齐唯,李春杰,何义亮.浸没式膜生物反应器的同步硝化反硝化效应[J].中国给水排水,2003,19(7):8-11.

[7] Berthold Gunder, Karlheinz Krauth. Replacement of secondary clarification by membrane separation results with tubular, plate and hollow fibre modules[J], Wat sci tech, 1999, 40(4-5):311-320.

(上接第12页)

好,可以被利用来处理生活污水;其主要的优化改造思路在于优化跌水曝气、减缓流速和增加停留时间。

参考文献:

[1] 姜翠玲,崔广柏.沟渠湿地对农业非点源污染物的净化能力研究[J].环境科学,2004,25(2):125-128.

[2] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法(第4版)[M].北京:中国环境科学出版社,2002,211-280.

[3] 夏汉平.人工湿地处理污水的机理与效率[J].生态学杂志,2002,21(04):52-59.

[4] 吴振斌,徐光来,周培疆,等.复合垂直流人工湿地污水氮的去除效果研究[J].农业环境科学学报,2004,23(4):757-760.

[5] Lin Ying-feng, Jing Shun-ren, Wang Tze-wen, et al. Effects of macrophytes and external carbon sources on nitrate removal

from groundwater in constructed wetlands[J]. Environmental Pollution, 2002, 119: 413-420.

[6] Matsumoto S, Terada A, Tsuneda S. Modeling of membrane-aerated biofilm: Effects of C/N ratio, biofilm thickness and surface loading of oxygen on feasibility of simultaneous nitrification and denitrification[J]. Biochemical Engineering, 2007, 13: 1016-1026.

[7] 侯红娟,王洪洋,周琪.进水COD浓度及C/N值对脱氮效果的影响[J].中国给水排水,2005,21(12):19-23.

[8] 徐和胜,付融冰,褚衍洋.芦苇人工湿地对农村生活污水磷素的去除及途径[J].生态环境,2007,16(5):1372-1375.

[9] 席北斗,徐红灯,翟丽华,等.pH对沟渠沉积物截留农田排水沟渠中氮、磷的影响研究[J].环境污染与防治,2007,29(7):490-492.