生物一生态组合工艺处理城市污水的启动研究*

陈秀荣¹ 周 琪²

(1. 华东理工大学资源与环境工程学院,上海 200237;2. 同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室,上海 200092)

摘要 生物一生态优化组合工艺试验规模为 100 m³/d,通过探索自然启动阶段生物一生态的优化组合模式,提高了启动中组合 工艺的处理效能、缩短了处理效能波动时段,实现了向运行阶段的平稳过渡,为工程规模的启动提供了系统依据。研究表明,在启动阶段通过生物-生态优化工况组合,可达到组合工艺 COD 去除率 90%、TN 去除率 40% ~ 70%、TP 去除率 90%的去除效果。

关键词 优化组合处理技术 城市污水 人工湿地 启动

Start up of the biological ecological combinative technology in municipal wastewater treatment Chen Xiurong¹, Zhou Qi². (1. Resource & Environmental Engineering College of East China University of Science & Technology, Shanghai 200237; 2. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse of Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract: In this work, an ecological wetland sew age treatment demonstration project, with a scale of 100 m³/d was established, aiming to test the workability of Biological Ecological Combinative Technology. The optimal combinative technology of biological and ecological unit in start up stage could not only improve the performance but also shorten the unstable phase of substrate removal. The results of this study have indicated that the removal of COD, to tal nitrogen, total phosphorus during start up stage are 90%, $40\% \sim 70\%$ and 90%, respectively.

Keywords. Optimal combinative treatment technology Municipal wastewater Constructed wetland Start up

污水活性污泥处理技术历史悠久。近年来,通 过工艺类型和工况参数的优化研究,实现了以除有 机污染为主向深度脱氮除磷性能的转变,其高效性 和灵活性逐步得到强化。然而,针对我国南方代表 性城市污水逐步体现为有机碳源含量低、营养盐含

gy municipal wastewater constructed wettand Start up

量高这一水质特点,提出了以生态段深度处理生物 二级出水的方案。目前为止,生态处理多用于城市 原污水处理或流域水质改善方面。以生态段深度处 理城市二级出水的优势体现在:在生物段污水的底 物浓度降至较低时以生态段继续处理,可避免生物

- 5 陶庭先,吴之传,赵择卿. 阴离子交换纤维的制备及其对氟离子交换性能的影响研究. 合成纤维, 2002, 31(3):22~24
- 6 于亚鑫, 翟秀静. 电渗析法分离氯氟离子, 有色金属, 1999, 5(14): 49~51
- 7 Zhou Y, Yu C, Shan Y. Adsorption of fluoride from aqueous solution on La^{3+} impregnatod Cross linked gelatin. Sep. Purif. Technol., 2004, 36: 89~94
- 8 Raichur A M, Basu M J. Adsorption of fluoride onto mixed rare earth oxides. Sep. Purif. Technol., 2001, 24: 121 ~ 127
- 9 Ladavos A K, Trikalitis P N, Pomonis P J. Surface characteristics and catalytic activity of A1 pillared (AZA) and Fe A1 pillared (FAZA) clays for isopropanal decomposition. J. Mol. Catal. A: Chem., 1996, 106; 241 ~ 254
- Barrault J. Abdellaoui M. Bouchoule C. et al. Catalytic wet per oxide oxidation over mixed(AHFe) pillared clays. Appl. Cataly. B: Environ., 2000, 27: L225 ~ L230
- Shimizu K I, Kaneko T, Fujishima T, et al. Selective oxidation of liquid hydrocarbons over photoirradiated TiO₂ pillared clays. Ap pl. Catal. A: Gen., 2002, 225: 185~191

- 12 Feng J Y, Hu X J, Yue P L et al. Degradation of azo dye O mange II by a photoassisted Fenton reaction using a novel composite of iron oxide and silicate nanoparticles as a catalyst. Ind. Eng. C hem. Res., 2003, 42: 2058 ~ 2066
- 13 Guo J, Al Dahhan M. Catalytic wet oxidation of phenol by hydro gen peroxide over pillared clay catalyst. Ind. Eng. Chem. Res., 2003, 42: 2450 ~ 2460
- 14 吴平霄.聚羟基铁铝复合柱撑蒙脱石的微结构特征.硅酸盐学报,2003,31(10):1018~1019
- 15 Mohapatra D, Mishra M, Mishra S P, et al. Use of oxide minerals to abate fluoride from water. J. Colloid. Interface, Sci., 2004, 275: 355 ~ 359
- 16 Mishra T, Parida K. Transition metal oxide pillared clay: 5. syn thesis. characterization and catalytic activity of iron chromium mixed oxide pillared montmorillonite. Appl Catal. A: Gen., 1998, 174: 91~98
- 17 Adamson A W. 表面物理化学. 顾惕人译. 北京: 科学出版社, 1984.402

责任编辑: 闵 怀 (修改稿收到日期: 2005 10 23)

第一作者: 陈秀荣, 女, 1975年生, 博士后, 研究方向为水处理。 *国家高技术研究发展计划(863)资助项目(No. 2002AA601023)。

表 1 试验原水水质							mg/L
项目	水温/℃	COD	SS	NH ₃ N	N O 3 N	T N	TP
范围	14~24	12.9~248.5	12~119	1.8~41.9	0~4.10	61.8~4.3	0. 5 ~ 29. 2
均值	18.2	150.0	45	25.0	0.65	30.0	5.0

段在低效区的浪费,并可发挥生态处理的低耗性和 稳定性,启动生态段生物、物化多途径除污机制,确 保理想的终端出水水质。

本研究立足于组合工艺的启动过程,力求通过 多途径、灵活的组合模式达到快速启动的目的,为生 产性运行提供宝贵借鉴。研究以武汉市经济技术开 发区为例,其中生物活性污泥系统的启动阶段按照 好氧自然启动方式操作,后续采用厌氧/缺氧/好氧 方式运行;生态段为人工湿地和植物稳定塘串联系 统,人工湿地包括潜流湿地以及表面流+潜流的组 合湿地。组合工艺启动于春季,研究以启动阶段生 物段出水水质的变化为线索,调整生物段和生态段 的工况组合模式,达到提高终端出水水质的目的。

1 试验设计

1.1 原水水质

试验原水取自武汉市经济技术开发区汉庆街泵 站集水池,启动试验始于 2004 年 2 月中旬,至 2004 年 6 月初结束,期间原水水质见表 1。

从表1可知,原水C:N:P=30~40:7:1, 远远低于传统生物处理要求(好氧C:N:P=100 :5:1;厌氧C:N:P=100:3:1)。对于该种 原水,直接进行生物一生态的自然启动,势必会受 到有机碳源含量低的限制而延缓活性污泥和生物 膜的形成。研究中通过优化生物段和生态段的工 况组合模式,提高了启动过程中组合工艺的处理 效能,为地处偏远、类似工艺的城镇污水厂提供了 宝贵的自然启动经验。

1.2 试验设计

1.2.1 试验流程

试验中生物一生态组合工艺流程如图 1 所示。 其中生物反应器为 11.64 m×1.0 m×3.5 m,按照 无接种好氧启动;人工湿地种植香蒲,包括潜流湿地 和组合湿地,两种湿地为 15 m×2.6 m,其中潜流湿 地除磷填料床深 0.6 m,组合湿地为表面流和潜流 组合结构,进水段 12.0 m,表面流结构水深 0.2 m, 出水段 3.0 m,潜流结构除磷填料床深 0.6 m;植物 稳定塘有效容积为 45 m³,种植芦苇、茭白、莲藕及 多种沉水植物。

2 试验结果及分析

自然启动过程中,4月中旬以前,生物反应器自 然启动后硝化效能尚未成熟,二级出水氮的主要形 态为NH→N,此阶段原水水温为13~19℃,湿地植 物生长缓慢、微生态活性较弱;4月中旬到5月底, 生物反应器的硝化效能逐步成熟,二级出水氮的主 要形态为NO₃-N,此阶段原水水温为20~25℃,湿 地植物生长迅速、微生态系统逐步成熟;5月底到6 月初,原水水温为25℃左右,湿地微生态结构完善, 处理效能趋于稳定。因此,根据不同时段生物、生态 单元工艺效能的转变,将组合工艺的启动研究分为 3个阶段。

2.1 生物段硝化效能未形成阶段

此阶段着重考察了生物段 HRT 为6h 和8h 工况,分别与水力负荷为0.34 m³/(m²·d)的组合 湿地、潜流湿地的组合效能,由于生物段硝化效能尚 未形成,主要考察各段处理过程中 COD、NH³N、 TN、TP 的去除情况,试验结果见表2。

表 2 启动初期生物-生态工况组合方式的出水指标

mg/L

生物段工况	指标	原水	二级出水	组合湿 地出水	潜流湿 地出水
生物於理母	COD	177.60	39.64	33.11	32.25
HRT = 6 h	NH ₃ N	23.87	22.74	19.98	20.13
内回流比 1.5	ΤN	26.52	24.02	21.85	21.46
污泥回流比 0.5	ТР	4.03	1.40	0.11	0.09
生物处理段	COD	145.80	17.60	15.16	13.24
HRT = 8 h	NH ₃ N	25.53	21.33	14.21	18.13
内回流比 2.0	ΤN	27.02	22.87	16.01	20.20
汚泥回流比 0.8	ТР	3.53	1.06	0.07	0.05

由表 2 数据可知, 同种进水条件下,组合湿地较 潜流湿地对 NH⁵ N 的去除效果好; 而且两种湿地 与生物段 HRT=8h 工况串联时的除污效能更好。 对该结论可解释为: 当湿地进水氮的主要形态为 NH⁵ N 且进水 pH 为中性时, NH⁵ N 挥发不占优 势^[1],则湿地对 NH⁵ N 的主要去除途径为植物吸 收、附着生物膜的同化及硝化/反硝化等。由于春季 正值湿地植被生长初期, 植物根系不发达, 根系周围 的好氧条件差, 附着于根系层的生物膜较少, 因此湿 地根系层对 NH⁵ N 的去除作用微弱, 去除 NH⁵ N 的主要区域为根系层以上。由于试验中组合湿地水 面布满浮萍, 浮萍的存在不仅增强了 NH⁵ N 的植 物吸收过程,而且浮萍上附着的生物膜对 NH+ N 的同化、硝化/反硝化过程也较显著^[1],因此组合湿 地对 NH+ N 的去除效果好于潜流湿地。

由于生物段硝化性能尚未形成,因此表 2 中生物 段 10%左右的氮去除仅用于生物同化,出水 NH+ N 与 TN 相近;而 HRT=6h的生物出水 COD 是 HRT =8h的 2 倍多,是由于进水 COD 较高时,缩短 HRT 使好 氧段对 COD 的生物 降解不充分。二级出水 COD 中有大量易降解有机底物,这部分 COD 在湿地 好氧异养菌群的继续降解时与 NH+ N 硝化过程竞争 DO,削弱了 NH+ N 的硝化/反硝化去除,因此生物段 HRT=6h与湿地串联的除氮效果较差。而 HRT= 8h时,生物反应器对 COD 降解充分,二级出水 COD 主要成分为微生物代谢产物及少量难降解的残留有 机物,多以悬浮或胶体形态存在,其在湿地中的主要 去除途径为吸附、截滤,该过程与 NH+ N 的去除关系 不大,因此生物段 HRT=8h 与湿地组合时 NH+ N 的去除效果更好。

表 2 中, 生物段 TP 去除率为 70%, 人工湿地 TP 去除率> 90%。由于原水中的 COD 水解后转 化为易降解有机底物, 而此时硝化/反硝化效能尚未 形成, 不存在反硝化与生物除磷对易降解性有机底 物的竞争, 因此生物段除磷效率较高。人工湿地除 磷的过程主要为植物吸收、微生态结构同化、填料层 吸附等^[2], 由于中试人工湿地填料层由页岩陶粒和 钢渣分段混合而成, 填料层富含硅酸根、钙和铁等矿 物质, 填料表面不仅可吸附除磷, 大量的矿物质还可 与磷酸根共沉淀去除^[3]。已有研究证实, 人工湿地 中主要的除磷过程为填料层、根系层及其上微生态 结构对磷的吸附、截留及共沉淀去除^[4], 该物化过程 受其他因素干扰较小, 因此两种人工湿地对 TP 的 去除效果都很理想, 且差距不大。

将生物段 H RT=8 h+组合湿地+植物稳定塘的组合工艺沿程出水指标示于图 2。由图 2 可知, 生物段完成有机底物的去除和有机氮氨化等过程, 生态段主要承担了对 N H₃ N 的植物吸收、土壤吸



附和生物膜的同化、硝化/反硝化去除过程,此时出 水水质为 $COD \leq 15 \text{ mg/L}$ 、 $TN \leq 10 \text{ mg/L}$ 、 $TP \leq 0.1 \text{ mg/L}$ 。

2.2 生物段硝化效能成熟阶段

此阶段生物反应器硝化效能成熟,按照厌氧/缺 氧/好氧模式运行,仍以 HRT=6 h、HRT=8 h 工 况分别与生态处理段水力负荷为0.34 m³/(m² · d) 的组合湿地、潜流湿地进行组合,结果见表3。

由表 3 数据可知,在生物段的硝化性能成熟时, 二级出水 NH+ N<1 mg/L,同时生物缺氧段的反 硝化效能也较高,TN 去除率近 40%。当二级出水 氮的主要形态为 NO+ N 时,两种湿地与生物段 H RT=6h 的工况串联后的脱氮效果更好;且组合 湿地的除氮效能都高于潜流湿地。

表3 启动中期生物一生态工况组合方式的出水指标

mg/L

					mg/11
生物段工况	指标	原水	二级出水	组合湿 地出水	潜流湿 地出水
	COD	168.40	34.01	16.26	25.78
生物处理段	$\rm NH_{3}N$	25.32	0.75	0.25	0.59
HRT=6h 内回流比15	NO <u>3</u> - N	0.35	15.05	7.19	11.13
污泥回流比 0.5	T N	26.73	16.27	7.82	12.03
	TP	3.88	2.45	0.13	0.08
	COD	130.98	18.80	14.22	15.07
生物处理段	$\rm NH_{3}N$	26.45	0.66	0.39	0.61
HRT=8h 内回流比20	$NO_{3}-N$	0.71	16.42	12.85	14.44
污泥回流比 0.8	T N	28.60	17.99	13.00	15.83
	TP	3.19	1.75	0.06	0.04

以上试验结论可解释为:HRT=6h 工况出水 较高的 COD 可为湿地内反硝化过程提供更多的碳 源,从而强化反硝化过程,因此两种湿地与HBT=6 h 工况串联时,脱氮效率更好。由于春季为植物生 长初期,根系不发达,附着于根系的生物膜较少,根 系层的微生态结构不完善,因此潜流湿地根系层微 生态结构对 NO 3- N 的反硝化作用较弱。由于试验 中组合湿地水面布满浮萍,一方面密布的浮萍阻止 大气向水体复氧,另一方面浮萍的光合作用又向表 层水体充氧,因此组合湿地水流中为上层好氧、下层 缺氧的环境。同时浮萍底层附着的大量生物膜不仅 提供了完善的微生态结构,而且其内部也存在良好 的缺氧微环境,因此组合湿地水流中的反硝化条件 充足,反硝化效率较高,超过了根系尚不发达的潜流 湿地。组合湿地对 NO-N 及 TN 的去除效果好于 潜流湿地。

在表 3 中, 生物段对 TP 去除率降至 40%。由 于此时系统的硝化 /反硝化效能已经形成, 反硝化与 生物除磷对易降解性有机底物的竞争使得生物除磷 效率大大降低^[5]。人工湿地对磷的去除主要为物化 过程,受干扰小,TP 去除率>90%。

由图 3 可知, 生物段主要完成了对 COD、N H₃ N 的去除, 二者去除率分别达 80%和 97%, TN 去 除率> 60%; 湿地主要完成了除碳和反硝化过程, COD 和 TN 去除率分别为 45%和 50%; 植物稳定 塘对 COD 和 NH₃ N 的去除率分别为 35%和 50%。 组合工艺最终出水 COD≤ 15.0 mg/L、TN≤5.0 mg/L、TP≤0.1 mg/L。





1 - 原水; 2 - 二级出水; 3 - 组合湿地出水; 4 - 稳定塘出水

2.3 生态段效能趋于成熟阶段

此阶段原水水温为 25 ℃, 微生物活性高, 植物 生长茂盛, 生态系统微生态结构逐步成熟。由于进 入初夏, 居民洗浴用水、清洁用水等大量增加, 城市 污水底物浓度大幅度降低, 因此调整生物厌氧/缺 氧/好氧工况 HRT 为 6 h, 并分别与水力负荷为 0.54 m³/(m² · d) 的组合湿地和潜流湿地进行组 合, 结果见表 4。

由表4数据可看出,在HRT=6h的厌氧/缺 氧/好氧出水中,90%的TN为NO÷N,人工湿地主 要的除氮途径是直接反硝化。由于夏季植物生长茂 盛、根系发达,根系层附着的生物膜量超过表面流水 面浮萍上附着的生物膜量,即根系层微生态结构更 为完善,因此潜流湿地根系层微生态结构对NO⁵⁻N 的反硝化作用较强,超过了表面流湿地浮萍及水中 植物茎叶上所附着生物膜的反硝化效能。因此,夏 季潜流湿地脱氮效能较表面流湿地更强。

表 4 启动末期生物 - 生态工况组合方式的出水指标

mg/

					0
生物段工况	指标	原水	二级出水	组合湿 地出水	潜流湿 地出水
生物处理段	COD	82.92	15.04	13.40	12.00
HRT = 6 h	N O 3- N	0.56	13.98	10.84	7.76
内回流比1.5	ΤN	21.40	14.65	12.03	8.82
汚泥回流比 0.8	ТР	2.09	1.17	0.07	0.02

由图 4 可知,启动末期处理效能逐步稳定时,生物段的主要任务都是异养除碳、自养硝化/异养反硝化和生物除磷过程,而生态段则主要完成异养除碳、反硝化和物化除磷过程,最终出水 COD≤15.0 mg/L、TN≤5.0 mg/L、TP≤0.1 mg/L。



1- 原水; 2- 二级出水; 3- 潜流湿地出水; 4-稳定塘出水

3 结 论

(1) 启动初期生物段硝化效能未形成、生态段
微生态系统不完善,采用 HRT=8 h 生物好氧工艺
+组合湿地(水力负荷 0.34 m³/(m² · d))+植物稳
定塘组合工艺。

(2) 启动中期生物段硝化效能成熟、生态段微 生态效能不稳定,采用 HRT=6 h 的厌氧、缺氧、好 氧工艺+组合湿地(水力负荷 0.34 m³/(m²·d))+ 植物稳定塘组合工艺。

(3) 启动末期生物段硝化效能成熟、生态段微 生态结构完善,采用 HRT=6 h 的厌氧、缺氧、好氧 工艺+潜流湿地(水力负荷 0.54 m³/(m² · d))+植 物稳定塘组合工艺。

工程应用中,考虑到生态段受气候条件的影响, 建议该组合工艺在我国南方城市污水厂的改造和建 设中采纳,若污水厂临近排放水体,可将水体周边地 带改造为生态段,建议人工湿地采用潜流湿地和表 面流湿地的间隔布置,通过控制各段出水路径达到 启动和运行阶段不同的组合模式。

参考文献

- Rômer S, Vermaat J E. The relative importance of lemna gibba L, bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duck weed covered domestic wastewater. Wat. Res., 1998, 32 (12): 3651 ~ 3661
- 2 Pant H K, Reddy K R, Emon E L. Phosphorus retention capacity of root bed media of sub surface flow constructed wetlands. Eco logical Engineering, 2001, 17: 345 ~ 355
- 3 Dierberg F E, Debusk T A, Jackson S D, et al. Submerged a quatic vegetation based treatment wetlands for removing phos phorus from agricultural runoff; response to hydraulic and nutri ent loading. Water Research, 2002, 361: 1409 ~ 1422
- 4 Gray S, Kinross J, Read P, et al. The nutrient assimilative capacity of maeril as a substrate in constructed wetland systems for waster treatment. Wat. Res., 2000, 34(8): 2183~2190
- 5 郑兴灿, 李亚新. 污水除磷脱氮技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998. 244~246

责任编辑: 闵 怀 (修改稿收到日期: 2005 11 08)

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net