

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第3期

Vol.33 No.3

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

典型排放源黑碳的稳定碳同位素组成研究	陈颖军,蔡伟伟,黄国培,李军,张干(673)
天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度特征研究	王圣杰,张明军,王飞腾,李忠勤(679)
兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究	赵素平,余晔,陈晋北,刘娜,何建军(687)
不同交通状况下道路边大气颗粒物数浓度粒径分布特征	杨柳,吴焯,宋少洁,郝吉明(694)
南京市夏季大气气溶胶新粒子生成事件分析	王红磊,朱彬,沈利娟,康汉青,刁一伟(701)
西北干旱区降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征及其水汽输送	李小飞,张明军,李亚举,王圣杰,黄小燕,马潜,马雪宁(711)
海南东部河口和近岸海域总溶解态无机砷的分布及季节变化	曹秀红,任景玲,张桂玲,张金娥,杜金洲,朱德弟(720)
大辽河口痕量元素砷的河口混合行为	简慧敏,姚庆祯,于立霞,田琳(727)
渤海湾表层沉积物各形态重金属的分布特征与生态风险评价	徐亚岩,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁(732)
青岛近岸表层海水中 PAHs 的分布特征及物源初步解析	李先国,邓伟,周晓,唐旭利,魏新运,王岩(741)
广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降	孔祥胜,祁士华,黄保健,张原,李杰(746)
上海宝山区城市土壤铅污染来源的同位素判别	董辰寅,张卫国,王冠,马鸿磊,刘圆,刘莹,叶雷平,俞立中(754)
溶质迁移模型在地下水有机污染源识别中的应用	王树芳,王丽亚,王晓红,林沛,刘久荣,辛宝东,贺国平(760)
地下水污染风险评价中特征污染物量化方法探讨	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮(771)
用于地下水回灌的再生水预处理工艺研究	高清漪,张薛,赵璇,赵刚(777)
菲律宾蛤仔养殖对胶州湾沉积物-水界面生源要素迁移的影响	邓可,刘素美,张桂玲,陆小兰,张经(782)
南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响	胡和兵,刘红玉,郝敬峰,安静(794)
上海都市农业村域地表水非点源氮素的时空分异特征	王楠,毛亮,黄海波,张进忠,周培(802)
不同粒径地表街尘中重金属在径流冲刷中的迁移转化	何小艳,赵洪涛,李叙勇,连宾,王小梅(810)
新型人工湿地对工业区降雨径流的净化研究	何丽君,马邕文,王金泉,李东亚,王艳(817)
改性膨润土应急截留液态有机物的性能及机制	李宇,刘贤君,张兴旺,雷乐成(825)
卵圆卡盾藻香港株过氧化氢产生的影响因素研究	江涛,吴霓,钟艳,江天久(832)
芽孢杆菌 B1 胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究	李蕾,赵玲,尹平河(838)
底泥对洋河水库微囊藻和鱼腥藻生长影响的研究	储昭升,张玉宝,金相灿,徐颖,杨红君(844)
新型无极准分子光源深度处理水相中含 N-杂环化合物	叶招莲,汪斌,路娟娟,李峰,张仁熙(849)
La/Ce 掺杂钛基二氧化铅电极的制备及电催化性能研究	郑辉,戴启洲,王家德,陈建孟(857)
DTT 对三苯基甲染料脱色的研究	潘涛,刘大伟,任随周,郭俊,孙国萍(866)
pH 及络合剂对亚铁活化 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 氧化去除活性艳蓝的影响研究	张成,王金泉,马邕文,王艳,黄明智,兰明(871)
臭氧降解高浓度腐殖酸动力学	郑可,周少奇,杨梅梅(879)
采用体积信息熵表征颗粒污泥系统稳定性及其稳定机制	李志华,姬晓琴,李胜,谢磊,赵海龙,王晓昌(885)
活性污泥的理化性质与絮凝调理投药量的关系	李婷,王毅力,冯晶,徐萌(889)
不同颗粒龄的好氧颗粒污泥性能的研究	周曼,杨昌柱,濮文虹,罗应东,龚建宇(896)
颗粒粒径与数量对硝化与反硝化过程的影响	李志华,曾金锋,李胜,姬晓琴,王晓昌(903)
氧化沟不同曝气模式对氮磷去除性能的优化与比较	郭昌梓,彭党聪,陈雪梅,王丹(910)
生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响	朱海风,周立祥,王电站(916)
2 种不同生物接触氧化工艺性能差异的微生物生态研究	钱殷,全向春,裴元生,马景赞,陶锟(922)
微生物群落对土壤微生物呼吸速率及其温度敏感性的影响	范分良,黄平容,唐勇军,李兆君,梁永超(932)
干旱沙区人工固沙植被演变过程中土壤有机碳氮储量及其分布特征	贾晓红,李新荣,周玉燕,李元寿(938)
密云水库上游流域土壤有机碳和全氮密度影响因素研究	王淑芳,王效科,欧阳志云(946)
外加营养源作用下微生物黏结剂对土壤团聚体的影响	莫艳华,汤佳,张仁铎,李方舟(952)
低分子量腐殖酸改性蒙脱土对黄曲霉素的吸附作用	姚佳佳,康福星,高彦征(958)
液固比对土壤洗涤去除多环芳烃效果的影响	吴威,姜林,陈家军,彭胜(965)
基于 PPI 的土地利用优化研究	武晓峰,李婷(971)
若尔盖高原湿地藻类多样性研究	陈曦,刘如钢,王艳芬,张洪勋(979)
3 种杀真菌剂对 AM 真菌侵染和黄芩生长的影响	贺学礼,王平,马丽,孟静静(987)
崇明东滩夏季沉积物厌氧氨氧化菌群落结构与空间分布特征	郑艳玲,侯立军,陆敏,谢冰,刘敏,李勇,赵慧(992)
厌氧条件下 2,2',4,4'-四溴联苯醚的微生物降解	卢晓霞,陈超琪,张姝,欧阳,尹力,吴蔚(1000)
重金属对白腐菌降解十溴联苯醚的影响	熊士昌,尹华,彭辉,何宝燕,龙焰,叶锦韶,张娜,彭素芬(1008)
有机农药滴滴涕和毒死蜱生物降解机制的分子模拟研究	林玉珍,曾光明,张斌,陈明,蒋敏,张嘉超,鲁伦慧,刘利锋(1015)
高效木薯渣分解复合菌群 RXS 的构建及其发酵特性研究	何江,毛忠贵,张庆华,张建华,唐蕾,张宏建(1020)
四环素类抗生素污染畜禽粪便的厌氧消化特征	童子林,刘元璐,胡真虎,袁守军(1028)
上推流厌氧反应器连续干发酵猪粪产沼气试验研究	陈闯,邓良伟,信欣,郑丹,刘刈,孔垂雪(1033)
《环境科学》征稿简则(878) 《环境科学》征订启事(1007) 信息(759, 770, 870, 1027)	

氧化沟不同曝气模式对氮磷去除性能的优化与比较

郭昌梓^{1,2}, 彭党聪¹, 陈雪梅², 王丹²

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055; 2. 陕西科技大学资源与环境学院, 西安 710021)

摘要: 采用轮流搅拌-曝气 SBR 系统模拟氧化沟的运行方式, 探讨分点曝气和分段曝气对氮磷的去除效果. 结果表明, 在供气量相同的条件下, 分点曝气系统溶氧效率高, 一个循环的好氧区比分段曝气系统长, 但是分段曝气溶解氧 (DO) 的有效利用率 (用于除氮除磷) 高, 二者硝化能力相当, 氨氮 (NH_4^+-N) 去除率分别为 96.68% 和 97.03%, 硝化菌活性 (以 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{MLVSS}$ 计) 分别为 4.65 和 4.66 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$. 在缺氧区和好氧区比例皆为 1 时, 分点曝气在 2、4、7 个分区时总氮 (TN) 去除率分别为 60.14%、47.93% 和 33.7%; 总磷 (TP) 去除率分别为 28.96%、23.75% 和 24.31%, 即分区越少, 对 TN 和 TP 的去除皆有利, 但是更利于 TN 的去除; 而分段曝气只有 1 个分区, 其 TN 和 TP 的去除率分别为 64.21% 和 49.09%, 分段曝气对氮磷的去除效果优于分点曝气, 但对提高 TP 的去除率更有利. 对于分段曝气, 在满足硝化效果的前提下, 增大缺氧区与好氧区的比例, 氮磷的去除效率增加. 当缺氧区与好氧区的比例由 1:1 增大至 1.8:1, 其 TN 和 TP 的去除率分别提高到 73.94% 和 54.18%. 继续增加缺氧区的比例, 将影响硝化和运行的稳定, 从而影响氮磷的去除效果.

关键词: 氧化沟; 分点曝气; 分段曝气; 分区; 氮; 磷

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)03-0910-06

Optimization and Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal by Different Aeration Modes in Oxidation Ditch

GUO Chang-zi^{1,2}, PENG Dang-cong¹, CHENG Xue-mei², WANG Dan²

(1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. College of Resource and Environment, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: The oxidation ditch operation mode was simulated by sequencing batch reactor (SBR) system with alternate stirring and aeration. The nitrogen and phosphorus removal efficiencies were investigated in two different aeration modes: point aeration and step aeration. Experimental results show that oxygen is dissolved more efficiently in point aeration mode with a longer aerobic region in the same air supply capacity, but dissolved oxygen (DO) utilization efficiency for nitrogen and phosphorus removal is high in step aeration mode. Nitrification abilities of the two modes are equal with ammonia-nitrogen (NH_4^+-N) removal efficiency of 96.68% and 97.03%, respectively. Nitrifier activities are 4.65 and 4.66 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$ respectively. When the ratio of anoxic zones and the aerobic zones were 1, the total nitrogen (TN) removal efficiency of point aeration mode in 2, 4 or 7 partitions was respectively 60.14%, 47.93% and 33.7%. The total phosphorus (TP) removal efficiency was respectively 28.96%, 23.75% and 24.31%. The less the partitions, the higher the nitrogen and phosphorus removal efficiencies, but it is in more favor of TN removal. As for step aeration mode with only one partitioning zone, the TN and TP removal efficiencies are respectively 64.21% and 49.09%, which is better than in point aeration mode, but more conducive to the improvement of TP removal efficiency. Under the condition of sufficient nitrification in step aeration mode, the nitrogen and phosphorus removal is better with the increase of anoxic zone. The removal efficiencies of TN and TP respectively rose to 73.94% and 54.18% when the ratio of anoxic zones and the aerobic zones was increased from 1:1 to 1.8:1. As the proportion of anoxic zones was enlarged further, nitrification and operation stability were weakened so as to affect the nitrogen and phosphorus removal efficiencies.

Key words: oxidation ditch; point aeration; step aeration; partitions; nitrogen; phosphorus

氧化沟是一种重要的活性污泥法, 具有操作管理方便、基建投资小和运行能耗低等优点, 在国内外深受欢迎并得到广泛应用和发展. 氧化沟的主要特点是曝气池呈封闭的沟渠形及溶解氧的不均匀分布, 泥水混合液在池内不断循环流动, 反复经历好氧、缺氧区, 为生物脱氮除磷提供优良的环境条件, 具有较好的生物脱氮除磷功能^[1~3]. 随着环境保护力度的加大及环境质量的日益提高, 高排放标准对污水处理工艺提出更高的要求, 氧化沟作为当

前污水处理的主流工艺之一, 面临着新的挑战. 在新形势下, 如何提高氧化沟的脱氮除磷效果将是一个新的研究课题. 根据生物脱氮除磷理论及氧化沟的特点, 在氧化沟中曝气设备的选型及分布即不同的

收稿日期: 2011-04-21; 修订日期: 2011-08-10

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07317-02); 陕西科技大学自然科学基金项目 (ZX09-04)

作者简介: 郭昌梓 (1968~), 男, 博士研究生, 讲师, 主要研究方向为水污染控制技术及废物资源化, E-mail: guochangzi@sust.edu.cn

曝气方式对其运行效果有重要影响,曝气方式不同,氧化沟中的缺氧-好氧(A/O)分区不一样,导致氮、磷及有机物去除效率和途径有很大差别.合理的分区是提高其脱氮除磷效果的关键,也是充分发挥氧化沟独特优势的重要条件.

大量的工程实践表明,按照现有的排放标准,在合理的设计负荷和运行条件下,大多数氧化沟对城镇污水处理皆可达到排放要求^[4~10].因此,通常情况下对氧化沟的A/O分区没有引起足够重视.但是实际运行的氧化沟并非皆具有很好的脱氮效果,有些氧化沟的脱氮效率并不高,甚至不具有脱氮效果,主要原因就是由于分区不合理导致其供氧不足或曝气过量,这2种情况皆对脱氮除磷产生不利影响.为了提高氧化沟处理效率,目前采取的主要措施是在传统氧化沟前增设厌氧池和缺氧池,进一步增强其脱氮除磷效果^[11~14].关于改善和提高氧化沟处理效果的研究也主要集中于氧化沟流态、发展变型及曝气设备的改进等方面^[15~19],对于氧化沟的分区研究目前还鲜有报道.氧化沟的分区与曝气设备的设置及曝气方式密切相关,为了充分发挥氧化沟的优势,提高氧化沟的处理效率,本课题组针对氧化沟的曝气方式,结合A/O工艺的运行特点,研究氧化沟不

同曝气模式对脱氮除磷的影响,优化分区,以期为氧化沟的运行设计及升级改造提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 研究方法与试验装置

由于实际氧化沟曝气设备固定,分区定型,不易操作和控制,不便于试验研究,而氧化沟模型一个循环经历的时间很短,不能很好地反映氧化沟每一循环的实际停留时间和反应时间.氧化沟的运行特点为:在一个循环内为推流式,多次循环为完全混合式.而SBR的特点是在时间上为推流式,在空间上为完全混合式,故二者在运行上有相似性^[20],因此本试验通过轮流搅拌-曝气SBR法模拟氧化沟的运行方式,采用间歇进水模拟氧化沟的循环比,用间歇曝气模拟氧化沟的曝气方式.曝气方式分为2种:一种为分散瞬时曝气,本研究称为“分点曝气”,另一种为分段连续曝气,本研究称为“分段曝气”.试验装置如图1所示,包括2个反应器,其有效容积均为15 L,运行程序由微电脑自动控制.试验时先研究分点曝气再研究分段曝气.反应器运行参数为:HRT=12 h, SRT=30 d, MLSS=(2 500±200) mg·L⁻¹.模拟氧化沟的平均循环比为17,一个循环时间为28 min.

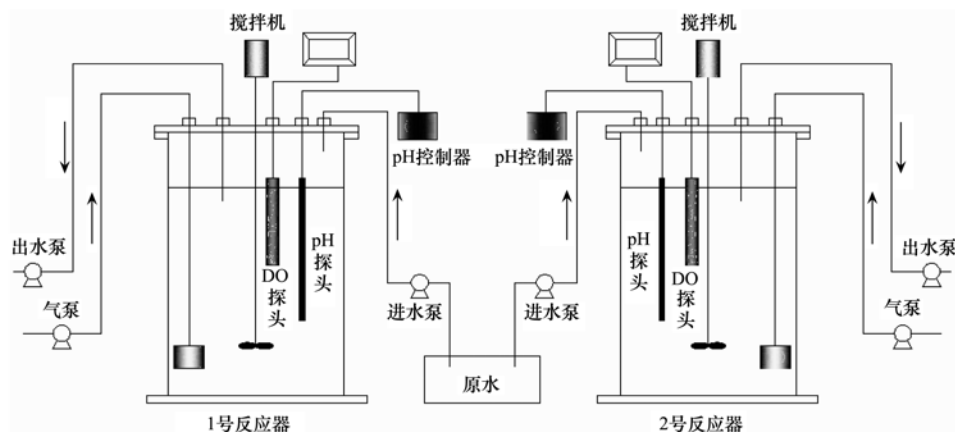


图1 反应器结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of experiment device

1.2 试验用水

试验采用人工配水,水质模拟城市污水,水质组成成分为:葡萄糖(以COD计)300 mg·L⁻¹, NH₄Cl(以N计)40 mg·L⁻¹, KH₂PO₄(以P计)6 mg·L⁻¹, 微量元素溶液1 mL·L⁻¹(废水).微量元素溶液用蒸馏水配制,其主要组分为: CuCl₂·2H₂O 35 mg·L⁻¹; NiCl₂·6H₂O 36 mg·L⁻¹; MgSO₄·7H₂O 5 000 mg·L⁻¹; FeCl₂·4H₂O 6 000 mg·L⁻¹; CoCl₂·4H₂O

880 mg·L⁻¹; ZnSO₄·7H₂O 100 mg·L⁻¹; MnCl₂·4H₂O 500 mg·L⁻¹.

1.3 污泥培养与驯化

本试验初始污泥取自西安市某污水处理厂氧化沟曝气池中,试验研究前在反应器中对所取的污泥进行了几个污泥龄的培养驯化.

1.4 分析方法

试验测定的主要水质指标为COD、NH₄⁺-N、

NO_3^- -N、 NO_2^- -N、TN、TP,同时对微生物进行镜检及定期测定污泥的SV、MLSS、SVI等指标,以反映污泥性状.水质监测方法依据文献[21].

DO、pH、ORP 分别采用 HANNA 溶解氧仪和雷磁 pH/ORP 测定仪测定.氨氧化速率、亚硝酸氧化速率的测定采用间歇试验法^[22].试验温度为 25℃ 左右.

2 结果与分析

2.1 分点曝气对脱氮除磷效果的影响

试验中通过设置不同曝气点形成 3 种不同分区,具体如下.

工况 1:间歇曝气时间间隔为 13 min,每次曝气时间 1 min,即一个循环曝气 2 次,形成 2 个 A/O 分区.

工况 2:间歇曝气时间间隔为 6 min,每次曝气时间 1 min,即一个循环曝气 4 次,形成 4 个 A/O 分区.

工况 3:间歇曝气时间间隔为 3 min,每次曝气时间 1 min,即一个循环曝气 7 次,形成 7 个 A/O 分区.

2.1.1 分点曝气 3 种分区的溶解氧(DO)分布

根据文献[23,24]和本研究前期试验结果,在氧化沟中,当好氧区与缺氧区大小相当时,去除效果较好.本试验中 3 种工况下好氧区与缺氧区比例相同,皆为 1.一个循环 DO 分布曲线如图 2 所示.

从一个循环 DO 变化曲线可看出:当好氧区与缺氧区比例皆为 1 时,在一个循环中,各个分区的最大溶解氧($\text{DO}_{\max}$)各不相同,每个工况在进水点后的第一好氧区 $\text{DO}_{\max}$ 最小,之后逐级增大,在最后一个好氧区 $\text{DO}_{\max}$ 达到最大,分别为 4.32、2.21、1.15 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.主要是由于在缺氧进水后各基质浓度最大,耗氧量大,从图 2 可以看出 3 种工况在第一好氧区 OUR 最大,但 3 个工况中,工况 3 的 DO 曲线起伏最大,受进水影响最大,因为工况 3 曝气点多,形成的 A/O 分区多,每个分区的好氧缺氧段短,在缺氧区进水后很快便进入好氧区,在缺氧区有机物利用很少,导致好氧区有机物耗氧多,因而 $\text{DO}_{\max}$ 小,经过多级缺氧好氧后,基质浓度减小, $\text{DO}_{\max}$ 逐渐升高.相反,A/O 分区少,缺氧区越长,有机物被反硝化菌和聚磷菌利用的越多,这样对下一级好氧区 DO 影响较小.因而工况 2 和工况 1 受进水影响依次减小.

2.1.2 分点曝气 3 种分区的 TN、TP 去除效果

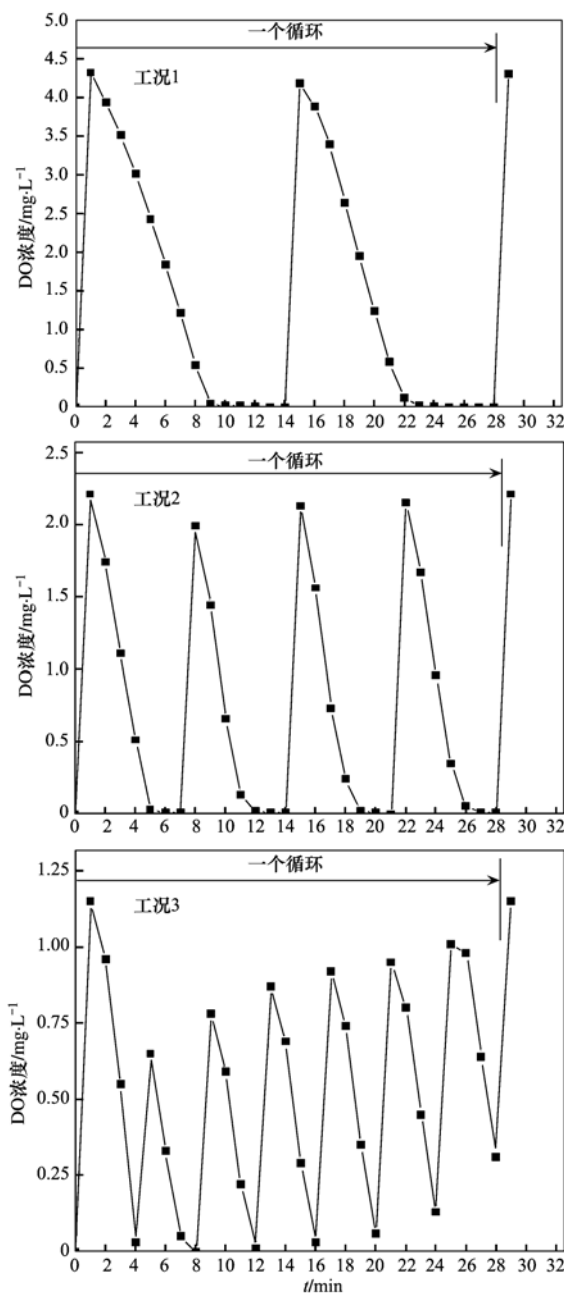


图 2 分点曝气 3 种工况一个循环 DO 分布

Fig. 2 DO distribution during a cycle of point aeration

3 种工况下 TN、TP 的变化如图 3 所示.可以看出:进水总氮平均浓度相当,但出水总氮平均浓度分别为 17.01、22.17、27.92 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.总氮平均去除率分别为 60.14%、47.93% 和 33.7%.工况 1 出水 TN 浓度最低,脱氮效果最好,从 TP 浓度变化可知,3 种工况 TP 的去除效率皆不高,进水 TP 平均浓度分别为 5.45、5.57 和 5.43 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,出水平均浓度分别为 3.87、4.25、4.13 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,3 种工况 TP 平均去除率分别为 28.96%、23.75% 和 24.31%.从 TN 和 TP 的变化可知,分区少对 TN 和 TP 的去除皆

有利,但是更利于 TN 的去除,TP 去除效果增加不明显.这是由于分区少,单个 A/O 区域长,从缺氧区进水后,反硝化菌优先利用碳源进行反硝化,硝氮浓度降低至一定浓度时,聚磷菌才可能利用碳源进行能源贮存^[25].但是由于分点曝气单个 A/O 分区不是很长,在缺氧反硝化不完全时便进入好氧区,剩余碳源在好氧区被好氧异养菌利用而降低,再进入下一级 A/O 分区中的缺氧段时,碳源减少,更不利于聚磷菌对碳源的使用.因此分点曝气对 TP 去除极为不利,TP 的去除效率低.

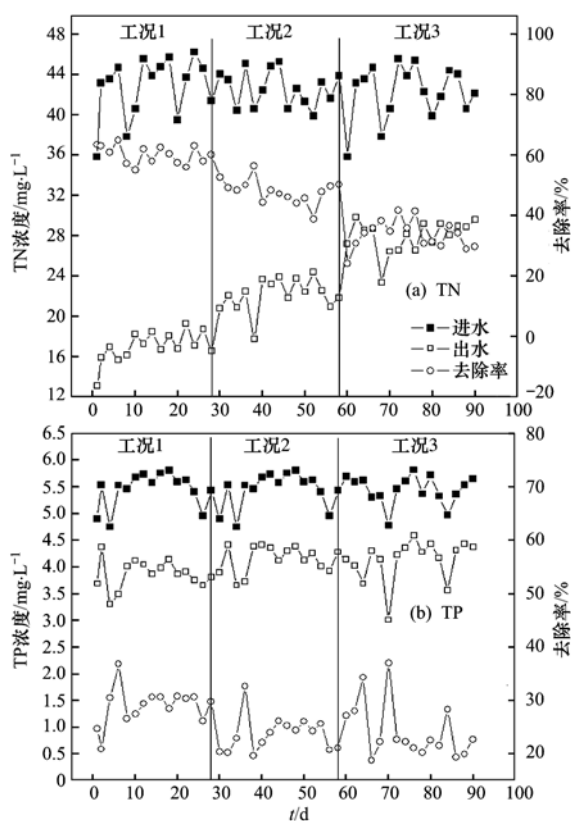


图3 分点曝气3种工况下 TN、TP 去除率

Fig. 3 TN and TP removal efficiencies of point aeration

2.2 分段曝气对脱氮除磷效果的影响

分段曝气运行方式分为工况4和工况5.

工况4对应于分点曝气中的工况2,即是将工况2每一循环的分点曝气时间累计在一起连续曝气(总计4 min).此时其好氧区与缺氧区之比约为1:1.8;即和工况2相比,其好氧区减小,缺氧区增加了.

工况5是在工况4的基础上再延长连续曝气时间,使好氧区与缺氧区之比为1,和分点曝气中好氧缺氧区比例相同.

2.2.1 分段曝气2种运行方式的 DO 分布

工况4和工况5中一个循环 DO 分布曲线如图4所示,和分点曝气相比,在相同的供气条件下,分段曝气氧的传质效率降低,因而好氧区减小,要达到同样的 A/O 比,需要延长曝气时间,增加溶氧.分段曝气每个循环为一个 A/O 分区.和分点曝气相比就单个 A/O 分区来说,其缺氧段和好氧段长.

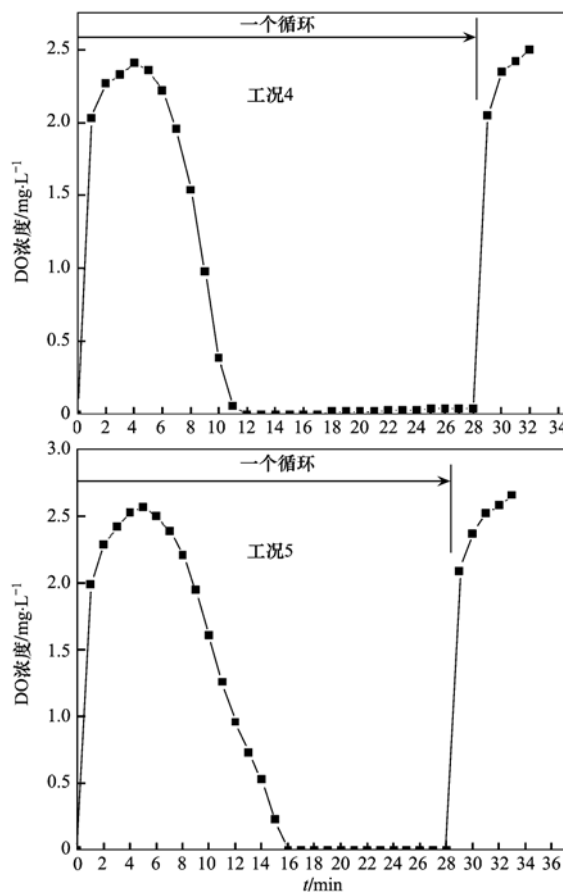


图4 分段曝气2种工况一个循环 DO 分布

Fig. 4 DO distribution during a cycle of step aeration

2.2.2 分段曝气2种运行方式的 TN、TP 去除效果

2种运行条件下 TN 和 TP 浓度变化如图5所示.可以看出工况4的处理效果优于工况5.进水 TN 平均浓度为 $43.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,工况4和工况5出水 TN 浓度分别为 11.23 和 $15.42 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,二者总氮平均去除率分别为 73.94% 和 64.21% .进水 TP 平均浓度为 $5.50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,工况4和工况5出水 TP 浓度分别为 2.52 和 $2.80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.TP 平均去除率分别为 54.18% 和 49.09% .由于分段曝气单个 A/O 分区长,在缺氧区进水后,不仅反硝化菌能充分利用碳源进行脱氮,同时聚磷菌在反硝化进行到一定程度后还可利用碳源进行能源贮备.因而其脱氮除磷效果皆明显提高.由于工况4缺氧区比工况5更长,因而

对碳源的利用更充分,所以其脱氮除磷效果更好.从分段曝气的 TN 和 TP 的去除效果来看,氧化沟脱氮除磷效果不是很好,可能由于负荷低、碳源不足限制了反硝化菌和聚磷菌代谢速率造成的^[26,27].

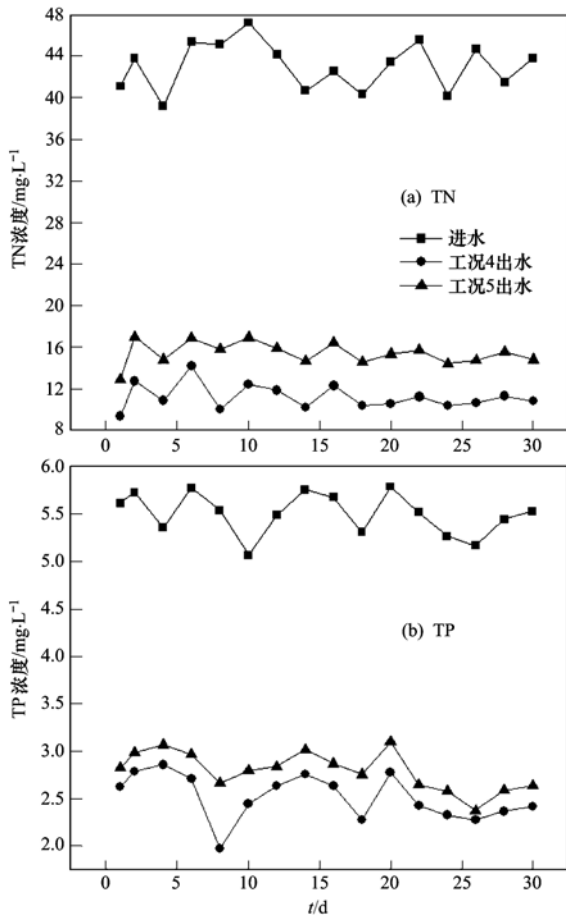


图5 分段曝气2种工况下 TN、TP 去除率

Fig. 5 TN and TP removal efficiencies of step aeration

2.3 分点曝气和分段曝气脱氮除磷效果比较

对于同样的供气量,由于分点曝气比分段曝气溶氧效率高,分点曝气总的好氧区比分段曝气长,但是其好氧区整体 DO 浓度小,而分段曝气好氧区虽短,但是其好氧区平均 DO 浓度大,且 DO 有效利用率高,所以两者硝化菌活性相当,工况 2 和工况 4 的硝化菌活性(以 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{MLVSS}$ 计,下同)分别为: 4.65 和 4.66 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$. 另外,氧化沟的运行负荷低,二者对 NH_4^+-N 氧化效率皆很高,工况 2 和工况 4 出水 NH_4^+-N 平均浓度分别为 1.23 和 1.25 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 但是两者 TN 去除率分别为 47.93% 和 73.94%,TP 去除率分别为 23.75% 和 54.18%,前者 TN 和 TP 的去除率皆比后者小得多,也就是说在满足硝化的前提下,分点曝气脱氮除磷效果不及分

段曝气,主要是由于分点曝气 A/O 分区多,每一循环在缺氧区进水后,经历的时间很短就进入好氧区,在缺氧区有机物被反硝化菌和聚磷菌利用的少,进入好氧区后有机物首先被好氧异养菌利用而消耗,造成有机物的浪费,因而脱氮除磷效果差.

对于分点曝气和分段曝气在好氧区和缺氧区比例相同的情况下,对比工况 1、2、3 和工况 5 可知,分点曝气中工况 1 的 TN 和 TP 去除效率最大,分别为 60.14% 和 28.96%,分段曝气(工况 5)TN 和 TP 去除效率分别为 64.21% 和 49.09%. 两者 TN 去除率接近,但工况 1 的 TP 去除率比工况 5 小得多,主要是由于工况 1 有 2 个 A/O 分区,工况 5 只有一个 A/O 分区,工况 1 进水后第一缺氧区反应时间为 6 min,在反硝化菌优先获取碳源进行反硝化后,聚磷菌还未来得及利用碳源便进入好氧区,这时虽然碳源仍有过剩,但在好氧区被消耗一部分,在进入第二个 A/O 分区后又优先进行反硝化,因而聚磷菌对碳源利用困难,除磷效果差. 而工况 5 进水后缺氧区反应时间为 14 min,当反硝化使硝酸盐氮下降后,聚磷菌开始进行厌氧释磷将外界碳源转变为储能物质为好氧吸磷提供吸磷动力,在碳源充足的情况下,释磷越多,即贮存 PHB 越多,好氧吸磷越充分,也就是在缺氧区反应时间越长,除磷效果越好,因而工况 5 除磷效果比工况 1 要好得多. 至于硝氮浓度对聚磷菌释磷的影响,目前还没有定论,文献[25]所得的结论是 $\text{NO}_3^- > 5.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时释磷即受到影响,本试验测得工况 5 在缺氧进水后 6 min 和 14 min 硝氮浓度分别为 10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,对比工况 4 和工况 5 的除磷效率可知,在缺氧时间延长时氮和磷的去除率仍在继续增加,即随着 NO_3^- 浓度的减少磷的去除效率增加,说明 NO_3^- 的存在对生物除磷的影响,有报道指出, NO_3^- 对生物除磷的影响与除了与其浓度有关还与反硝化菌及聚磷菌的活性和浓度有关^[28,29].

3 结论

(1)在分点曝气中曝气时间短次数多,每次曝气的氧传质推动力大,溶氧效率高,对于同样的供氧量,分点曝气系统总的好氧区比分段曝气系统长,但是分点曝气系统的好氧区对有机物量的去除量大,耗氧多,而分段曝气 DO 的有效利用率(用于脱氮除磷)高. 二者硝化能力相当, NH_4^+-N 去除率分别为 96.68% 和 97.03%,硝化菌活性分别为 4.65 和 4.66 $\text{mg}\cdot(\text{g}\cdot\text{h})^{-1}$.

(2)在分点曝气中,分区越多,有机物被好氧异养菌利用的越多,脱氮除磷效果越差.分区减少,可以有效地增加反硝化菌对碳源的利用,有利于提高脱氮效果,但仍不能满足聚磷菌对碳源的需求,磷的去除效果增加不明显.

(3)在同样的供氧条件下,分段曝气的脱氮除磷效果优于分点曝气,在满足硝化的前提下,分段曝气缺氧区 and 好氧区比例越大,对脱氮除磷越有利,DO 的有效利用率也越高,此时越接近于前置缺氧-好氧(A/O)工艺.在好氧区和缺氧区比例相同的条件下,分区越少,脱氮除磷效果越好.

参考文献:

- [1] 邓荣森. 氧化沟污水处理理论与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006. 5-8, 73-135.
- [2] Alaya S B, Haouech L, Cherif H, *et al.* Aeration management in an oxidation ditch[J]. *Desalination*, 2010, **252**(1-3): 172-178.
- [3] 沈耀良, 王宝贞. 废水生物处理新技术—理论与应用[M]. (第二版). 北京: 中国环境科学出版社, 2006. 415-468.
- [4] 杨青, 刘遂庆, 甘树应. Carrousel 氧化沟中的同时硝化/反硝化(SND)现象研究[J]. *环境科学*, 2002, **23**(增刊): 40-43.
- [5] Gao S Y, Peng Y Z, Wang S Y, *et al.* Novel strategy of nitrogen removal from domestic wastewater using pilot orbital oxidation ditch[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2006, **18**(5): 883-839.
- [6] 袁宏林, 王晓昌, 李志华, 等. DE 型氧化沟系统处理城市污水的效果[J]. *给水排水*, 2000, **26**(4): 5-8.
- [7] 杨跃, 张金松, 刘礼祥, 等. 三沟式氧化沟工艺数学模拟的反应器构建方法[J]. *中国给水排水*, 2010, **26**(7): 46-49.
- [8] 吕守维. 侧沟式一体化氧化沟生产性试验[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2005.
- [9] 叶从容. 微曝氧化沟除磷工艺运行状况研究[J]. *水处理技术*, 2009, **35**(1): 97-99.
- [10] Tiranuntakul M, Jegatheesan V, Schneider P A, *et al.* Performance of an oxidation ditch retrofitted with a membrane bioreactor during the start-up[J]. *Desalination*, 2005, **183**(10): 417-424.
- [11] Peng Y Z, Hou H X, Wang S Y, *et al.* Nitrogen and phosphorus removal in pilot-scale anaerobic-anoxic oxidation ditch system[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, **20**(4): 398-403.
- [12] 欧阳云生, 贺玉龙, 倪亮. 邛崃市污水处理厂 A²/O 微曝氧化沟系统的设计[J]. *中国给水排水*, 2008, **24**(22): 30-33.
- [13] 路畅. 改良型氧化沟工艺脱氮除磷效果分析[A]. 见: 中国环境科学学会 2009 年学术年会论文集(2)[C]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009. 76-80.
- [14] 王敦球, 赵成根, 孙晓杰, 等. 桂林市七里店污水净化厂氧化沟升级改造[J]. *中国给水排水*, 2010, **26**(22): 69-71.
- [15] 李柏林, 张智, 刘少武, 等. A/A/O 氧化沟流态特性研究及积泥分析[J]. *土木建筑与环境工程*, 2011, **33**(1): 118-123.
- [16] Thakre S B, Bhuyar L B, Deshmukh S J. Oxidation ditch process using curved blade rotor as aerator[J]. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 2009, **6**(1): 113-122.
- [17] Fan L, Xu N, Wang Z Q, *et al.* PDA experiments and CFD simulation of a lab-scale oxidation ditch with surface aerators[J]. *Chemical Engineering Research and Design*, 2010, **88**(1): 23-33.
- [18] Gillotm S, Headuit A. Effect of air flow rate on oxygen transfer in an oxidation ditch equipped with fine bubble diffusers and slow speed mixers[J]. *Water Research*, 2000 **34**(5): 1756-1762.
- [19] Xia S B, Liu J X. An innovative integrated oxidation ditch with vertical circle for domestic wastewater treatment[J]. *Process Biochemistry*, 2004, **39**(9): 1111-1117.
- [20] Goronszy M C. Intermittent operation of the extended aeration process for small systems[J]. *Water Pollution Control Federation*, 1979, **51**(2): 274-287.
- [21] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. (第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 243-284, 368-370.
- [22] Hagman M, Nielsen J L, Nielsen P H, *et al.* Mixed carbon sources for nitrate reduction in activated sludge-identification of bacteria and process activity studies[J]. *Water Research*, 2008, **42**(6-7): 1539-1546.
- [23] Pereira J P, Karpinska A, Dias M M, *et al.* The Dissolved Oxygen Profile in Oxidation Ditches: a numerical study on its effect on nutrient removal[A]. In: Proc. of 2nd specialized conference on nutrient management in wastewater treatment process[C]. Kraków, Poland, 2009. 861-869.
- [24] Abusam A, Keesman K J, van Straten G. Forward and backward uncertainty propagation: an oxidation ditch modelling example[J]. *Water Research*, 2003, **37**(2): 429-435.
- [25] 彭永臻, 侯红勋, 孙红伟, 等. A²/O 氧化沟工艺中 NO₃⁻ 对生物除磷影响[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2008, **40**(8): 1311-1314.
- [26] Tanwar P, Nandy T, Khan R, *et al.* Intermittent cyclic process for enhanced biological nutrient removal treating combined chemical laboratory wastewater[J]. *Bioresource Technology*, 2007, **98**(13): 2473-2478.
- [27] Balku S. Comparison between alternating aerobic-anoxic and conventional activated sludge systems[J]. *Water Research*, 2007, **41**(10): 2220-2228.
- [28] Hu Z R, Wentzel M C, Ekama G A. Anoxic growth of phosphate-accumulating organisms (PAOs) in biological nutrient removal activated sludge systems[J]. *Water Research*, 2002, **36**(18): 4927-4937.
- [29] Oehmen A, Lemos P C, Carvalho G, *et al.* Advances in enhanced biological phosphorus removal: from micro to macro scale[J]. *Water Research*, 2007, **41**(11): 2271-2300.

CONTENTS

Stable Carbon Isotope of Black Carbon from Typical Emission Sources in China	CHEN Ying-jun, CAI Wei-wei, HUANG Guo-peí, <i>et al.</i> (673)
Characteristics of Carbonaceous Aerosol Concentration in Snow and Ice of Glaciers in Tianshan Mountains	WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, <i>et al.</i> (679)
Size Distribution Properties of Atmospheric Aerosol Particles During Summer and Autumn in Lanzhou	ZHAO Su-ping, YU Ye, CHEN Jin-bei, <i>et al.</i> (687)
Particle Number Size Distribution near a Major Road with Different Traffic Conditions	YANG Liu, WU Ye, SONG Shao-jie, <i>et al.</i> (694)
Atmospheric Particle Formation Events in Nanjing During Summer 2010	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (701)
Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Moisture Transports over the Arid Region in Northwest China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, LI Ya-ju, <i>et al.</i> (711)
Distributions and Seasonal Variations of Total Dissolved Inorganic Arsenic in the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	CAO Xiu-hong, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (720)
Mixing Behavior of Arsenic in the Daliaohe Estuary	JIAN Hui-min, YAO Qing-zheng, YU Li-xia, <i>et al.</i> (727)
Variation Characteristics and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of Bohai Bay	XU Ya-yan, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, <i>et al.</i> (732)
Distribution of PAHs in Surface Seawater of Qingdao Coast Area and Their Preliminary Apportionment	LI Xian-guo, DENG Wei, ZHOU Xiao, <i>et al.</i> (741)
Atmospheric Deposition of PAHs in Dashiwei Karst Tiankeng Group in Leye, Guangxi	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, HUANG Bao-jian, <i>et al.</i> (746)
Lead Isotope Signatures and Source Identification in Urban Soil of Baoshan District, Shanghai	DONG Chen-yin, ZHANG Wei-guo, WANG Guan, <i>et al.</i> (754)
Solute Transport Modeling Application in Groundwater Organic Contaminant Source Identification	WANG Shu-fang, WANG Li-ya, WANG Xiao-hong, <i>et al.</i> (760)
Quantitative Method of Representative Contaminants in Groundwater Pollution Risk Assessment	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (771)
Study on the Advanced Pre-treatments of Reclaimed Water Used for Groundwater Recharge	GAO Yu-tuan, ZHANG Xue, ZHAO Xuan, <i>et al.</i> (777)
Influence of <i>Ruditapes philippinarum</i> Aquaculture on Benthic Fluxes of Biogenic Elements in Jiaozhou Bay	DENG Ke, LIU Su-mei, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (782)
Influence of Spatial Difference on Water Quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing	HU He-bing, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (794)
Temporal and Spatial Variation of Non-Point Source Nitrogen in Surface Water in Urban Agricultural Region of Shanghai	WANG Nan, MAO Liang, HUANG Hai-bo, <i>et al.</i> (802)
Migration and Transformation of Heavy Metals in Street Dusts with Different Particle Sizes During Urban Runoff	HE Xiao-yan, ZHAO Hong-tao, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (810)
Treatment Studies of Industrial Rainoff With a New Type of Constructed Wetland	HE Li-jun, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (817)
Emergent Retention of Organic Liquid by Modified Bentonites: Property and Mechanism	LI Yu, LIU Xian-jun, ZHANG Xing-wang, <i>et al.</i> (825)
Production of Peroxide Hydrogen in <i>Chattonella ovata</i> Hong Kong Strain	JIANG Tao, WU Ni, ZHONG Yan, <i>et al.</i> (832)
Characteristics Study of Extracellular Active Substance of <i>Bacillus</i> sp. B1 on <i>Phaeocystis globosa</i>	LI Qiang, ZHAO Ling, YIN Ping-he (838)
Effects of Sediment on the Growth of <i>Microcystis</i> and <i>Anabaena</i> in Yanghe Reservoir	CHU Zhao-sheng, ZHANG Yu-bao, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (844)
New-Type Electroless Excilamp for Advanced Treatment on Nitrogen-Heterocyclic Compounds (NHCs) in Aqueous Solution	YE Zhao-lian, WANG Bin, LU Juan-juan, <i>et al.</i> (849)
Preparation and Electro-catalytic Characterization on La/Ce Doped Ti-base Lead Dioxide Electrodes	ZHENG Hui, DAI Qi-zhou, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (857)
Study on Decolorization of Triphenylmethane Dyes by DTT	PAN Tao, LIU Da-wei, REN Sui-zhou, <i>et al.</i> (866)
Influences of pH and Complexing Agents on Degradation of Reactive Brilliant Blue KN-R by Ferrous Activated Persulfate	ZHANG Cheng, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (871)
Degradation Kinetics of Ozone Oxidation on High Concentration of Humic Substances	ZHENG Ke, ZHOU Shao-qi, YANG Mei-mei (879)
Index of Stability and Its Mechanisms of Aerobic Granular System Using Volume-based Information Entropy	LI Zhi-hua, JI Xiao-qin, LI Sheng, <i>et al.</i> (885)
Relationship Between Physicochemical Characteristics of Activated Sludge and Polymer Conditioning Dosage	LI Ting, WANG Yi-li, FENG Jing, <i>et al.</i> (889)
Research of Aerobic Granule Characteristics with Different Granule Age	ZHOU Man, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (896)
Effect of Size and Number of Aerobic Granules on Nitrification and Denitrification	LI Zhi-hua, ZENG Jin-feng, LI Sheng, <i>et al.</i> (903)
Optimization and Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal by Different Aeration Modes in Oxidation Ditch	GUO Chang-zi, PENG Dang-cong, CHENG Xue-mei, <i>et al.</i> (910)
Effect of Acidification on the Dewaterability of Sewage Sludge in Bioleaching	ZHU Hai-feng, ZHOU Li-xiang, WANG Dian-zhan (916)
Microbial Ecology Analysis of the Biofilm from Two Biological Contact Oxidation Processes with Different Performance	QIAN Yin, QUAN Xiang-chun, PEI Yuan-sheng, <i>et al.</i> (922)
Altered Microbial Communities Change Soil Respiration Rates and Their Temperature Sensitivity	FAN Fen-liang, HUANG Ping-rong, TANG Yong-jun, <i>et al.</i> (932)
Storages and Distributed Patterns of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen During the Succession of Artificial Sand-Binding Vegetation in Arid Desert Ecosystem	JIA Xiao-hong, LI Xin-rong, ZHOU Yu-yan, <i>et al.</i> (938)
Factors Controlling Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Densities in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China	WANG Shu-fang, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun (946)
Impact of Microbial Aggregating Agents on Soil Aggregate Stability Under Addition of Exogenous Nutrients	MO Yan-hua, TANG Jia, ZHANG Ren-duo, <i>et al.</i> (952)
Adsorption of Aflatoxin on Montmorillonite Modified by Low-Molecular-Weight Humic Acids	YAO Jia-jia, KANG Fu-xing, GAO Yan-zheng (958)
Influence of Operating Parameters on Surfactant-enhanced Washing to Remedy PAHs Contaminated Soil	WU Wei, JIANG Lin, CHEN Jia-jun, <i>et al.</i> (965)
Study on the Land Use Optimization Based on PPI	WU Xiao-feng, LI Ting (971)
Research on Algal Diversity in Zoige Alpine Wetland	CHEN Xi, LIU Ru-yin, WANG Yan-fen, <i>et al.</i> (979)
Effects of Three Fungicides on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Infection and Growth of <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	HE Xue-li, WANG Ping, MA Li, <i>et al.</i> (987)
Community Structure and Spatial Distribution of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria in the Sediments of Chongming Eastern Tidal Flat in Summer	ZHENG Yan-ling, HOU Li-jun, LU Min, <i>et al.</i> (992)
Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether Under Anaerobic Condition	LU Xiao-xia, CHEN Chao-qi, ZHANG Shu, <i>et al.</i> (1000)
Effect of Heavy Metals on Degradation of BDE-209 by White-rot Fungus	XIONG Shi-chang, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (1008)
Biodegradation Mechanism of DDT and Chlorpyrifos Using Molecular Simulation	LIN Yu-zhen, ZENG Guang-ming, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (1015)
Construction of a Microbial Consortium RXS with High Degradation Ability for Cassava Residues and Studies on Its Fermentative Characteristics	HE Jiang, MAO Zhong-gui, ZHANG Qing-hua, <i>et al.</i> (1020)
Anaerobic Digestion of Animal Manure Contaminated by Tetracyclines	TONG Zi-lin, LIU Yuan-lu, HU Zhen-hu, <i>et al.</i> (1028)
Continuous Dry Fermentation of Pig Manure Using Up Plug-Flow Type Anaerobic Reactor	CHEN Chuang, DENG Liang-wei, XIN Xin, <i>et al.</i> (1033)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年3月15日 33卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 3 Mar. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人