

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第1期

Vol.33 No.1

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

30年来中国民航运输行业的大气污染物排放	何吉成(1)
北京上甸子站气相色谱法大气CH ₄ 和CO在线观测方法研究	汪巍,周凌晔,方双喜,张芳,姚波,刘立新(8)
2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子	朱李华,陶俊,陈忠明,赵岳,张仁健,曹军骥(13)
广东东江流域多氯萘的大气沉降研究	王琰,李军,刘向,成志能,张瑞杰,张干(20)
塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征	段魏魏,娄恺,曾军,胡蓉,史应武,何清,刘新春,孙建,晁群芳(26)
紫外光降解对生物过滤塔去除氯苯性能的影响机制研究	王灿,席劲瑛,胡洪营,姚远(32)
春季黄渤海溶解有机碳的平面分布特征	丁雁雁,张传松,石晓勇,商荣宁(37)
春季胶州湾海水汞的形态研究	许廖奇,刘汝海,王金玉,汤爱坤,王舒(42)
丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素	蒲焘,何元庆,朱国锋,张蔚,曹伟宏,常丽,王春风(48)
塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化	陈永金,李卫红,董杰,刘加珍(55)
某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟	马志飞,安达,姜永海,席北斗,李定龙,张进保,杨昱(64)
北京市城市降雨径流水质评价研究	侯培强,任玉芬,王效科,欧阳志云,周小平(71)
重庆市路面降雨径流特征及污染源解析	张千千,王效科,郝丽岭,侯培强,欧阳志云(76)
沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究	陈祈春,李正魁,王易超,吴凯,范念文(83)
Pd/TiO ₂ 对水体中2,4-二氯酚的催化加氢脱氯研究	张寅,邵芸,陈欢,万海勤,万玉秋,郑寿荣(88)
pH值对纳米零价铁吸附降解2,4-二氯苯酚的影响	冯丽,葛小鹏,王东升,汤鸿霄(94)
给水管网中耐氯性细菌的灭活特性研究	陈雨乔,段晓笛,陆品品,王茜,张晓健,陈超(104)
安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价	宋大平,庄大方,陈巍(110)
染整废水深度处理纳滤工艺膜污染成因分析	曹晓兵,李涛,周律,杨海军,王晓(117)
间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究	谢志刚,邱雪敏,赵燕玲(124)
pH及表面活性剂对诺氟沙星在海洋沉积物上吸附行为的影响	庞会玲,杨桂朋,高先池,曹晓燕(129)
硅在湖泊沉积物上的吸附特征及形态分布研究	吕昌伟,崔萌,高际玫,张细燕,万丽丽,何江,孟婷婷,白帆,杨旭(135)
农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用	徐仁扣,赵安珍,肖双成,袁金华(142)
高分子固体废物基活性炭对有机染料的吸附解吸行为研究	廉菲,刘畅,李国光,刘一夫,李勇,祝凌燕(147)
活性污泥对四环素的吸附性能研究	陈瑞萍,张丽,于洁,陶芸,张忠品,李克勋,刘东方(156)
加油站油类污染物自然衰减现场试验研究	贾慧,武晓峰,胡黎明,刘培斌(163)
生物质炭对土壤中氯苯类物质生物有效性的影响及评价方法	宋洋,王芳,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,谢祖彬,蒋新(169)
利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为MUCT工艺运行控制参数	王晓玲,尹军,高尚(175)
数学模拟好氧颗粒污泥的形成及水力剪切强度对颗粒粒径的影响	董峰,张捍民,杨凤林(181)
不同污泥停留时间对城市污泥生物沥浸推流式运行系统的影响	刘奋武,周立祥,周俊,姜峰,王电站(191)
间歇曝气生物滤池生物除磷性能研究	曾龙云,杨春平,郭俊元,罗胜联(197)
鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究	陈广银,常志州,叶小梅,杜静,徐跃定,张建英(203)
北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估	陈操操,刘春兰,李铮,王海华,张妍,王璐(208)
外加酶强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性的研究	杨慧,刘志华,李小明,杨麒,方丽,黄华军,曾光明,李硕(216)
赤潮藻电致化学发光分子探针检测系统的构建	朱霞,甄毓,米铁柱,池振明,徐晓春(222)
邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻的抑制机制研究	别聪聪,李锋民,王一斐,王昊云,赵雅茜,赵薇,王震宇(228)
纳米TiO ₂ 对短裸甲藻的毒性效应	李锋民,赵薇,李媛媛,田志佳,王震宇(233)
苏州河底泥3种内分泌干扰物的空间分布及环境风险	李洋,胡雪峰,王效举,茂木守,大塚宜寿,细野繁雄,杜艳,姜琪,李珊,冯建伟(239)
电子废物拆解区农业土壤中PCNs的污染水平、分布特征与来源解析	王学彤,贾金盼,李元成,孙阳昭,吴明红,盛国英,傅家谟(247)
洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险	刘德鸿,王发园,周文利,杨玉建(253)
湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价	刘春早,黄益宗,雷鸣,郝晓伟,李希,铁柏清,谢建治(260)
广西铅锡矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律	项萌,张国平,李玲,魏晓飞,蔡永兵(266)
缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究	吴锡,许丽英,张雪霞,宋雨,王新,贾永锋(273)
可渗透反应复合电极法对铬(VI)污染土壤的电动修复	付融冰,刘芳,马晋,张长波,何国富(280)
胡敏酸对汞还原能力的测定和表征	江韬,魏世强,李雪梅,卢松,李梦婕,罗畅(286)
Zn(II)对生物质碳源处理酸性矿山排水中厌氧微生物活性影响	黎少杰,陈天虎,周跃飞,岳正波,金杰,刘畅(293)
油气田土壤样品中可培养丁烷氧化菌多样性研究	张莹,李宝珍,杨金水,汪双清,袁红莉(299)
利用PCR-DGGE分析未开发油气田地表微生物群落结构	满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(305)
黄土高原六道沟流域8种植物根际细菌与AMF群落多样性研究	封晔,唐明,陈辉,丛伟(314)
鸡粪与猪粪所含土霉素在土壤中降解的动态变化及原因分析	张健,关连珠,颜丽(323)
杂质对废塑料裂解产物及污染物排放的影响	赵磊,王中慧,陈德珍,马晓波,栾健(329)
《环境科学》征稿简则(7)	
《环境科学》征订启事(19)	
信息(47,70,202,304)	

利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为 MUCT 工艺运行控制参数

王晓玲^{1,2}, 尹军^{2*}, 高尚¹

(1. 吉林建筑工程学院市政与环境工程学院, 长春 130021; 2. 吉林建筑工程学院水污染控制与资源化利用吉林省重点实验室, 长春 130021)

摘要:以模拟生活污水为对象考察了第二缺氧段硝酸盐氮质量浓度($S_{NO_3^-}$)作为 MUCT 工艺运行控制参数的可行性. 将进水 COD 质量浓度恒定为 $(290 \pm 10) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TN 质量浓度恒定为 $(55 \pm 0.5) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TP 质量浓度恒定为 $(7.0 \pm 0.5) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 改变第二缺氧段硝酸盐氮质量浓度以比较各段出水 TN 和 TP 质量浓度. 结果表明, $S_{NO_3^-}$ 值显著影响着出水 TN 和 TP 质量浓度, 控制内循环回流量维持 $S_{NO_3^-}$ 为 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 可实现 MUCT 工艺的最优控制. 利用各段硝酸盐氮和 TP 平均质量浓度进行的物料平衡计算结果表明 $S_{NO_3^-}$ 是影响厌氧段释磷量、第一缺氧段和第二缺氧段硝酸盐氮反应量、第二缺氧段吸磷量的重要参数.

关键词: MUCT 工艺; 缺氧吸磷; 反硝化聚磷菌; 第二缺氧段硝酸盐氮浓度; 物料平衡

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)01-0175-06

Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone

WANG Xiao-ling^{1,2}, YIN Jun², GAO Shang¹

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Jilin Architectural and Civil Engineering Institute, Changchun 130021, China; 2. Jilin Province Key Laboratory of Water Pollution Control and Resources Reuse, Jilin Architectural and Civil Engineering Institute, Changchun 130021, China)

Abstract: The feasibility of the control for MUCT process operation using nitrate concentration in the secondary anoxic zone were investigated by using simulative domestic sewage, in which the influent chemical oxygen demand concentration was stabilized at $(290 \pm 10) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, the influent total nitrogen (TN) concentration was stabilized at $(55 \pm 0.5) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, the influent total phosphorus (TP) concentration was stabilized at $(7.0 \pm 0.5) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The nitrate concentration in the secondary anoxic zone was changed to compare the effluent total nitrogen and total phosphorus concentration. The results indicated that, effluent total nitrogen and total phosphorus concentration significantly were affected by $S_{NO_3^-}$, controlling nitrate recirculation flow keeping $S_{NO_3^-}$ in $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ can realize MUCT process as the optimal control for nitrogen and phosphorus removal. The TP and NO_3^- -N mass balances were performed around each zone and settling tank based on the averaged TP and TN concentrations for each nitrate concentration in the secondary anoxic zone, which was indicated that $S_{NO_3^-}$ is a key factor determining the mass of phosphorus which is released in anaerobic zone, mass of phosphorus uptake in the secondary anoxic zone, and mass of NO_3^- -N which is denitrified in the first and secondary anoxic zone.

Key words: MUCT process; anoxic phosphorus uptake; denitrifying phosphate-accumulating organisms (DPAOs); concentration of NO_3^- -N in the second anoxic zone; mass balance

研究结果和实际运行结果表明,在营养物质去除系统(biological nutrient removal, BNR)中存在一部分聚磷菌可在缺氧条件下进行吸磷,这一类微生物被称为反硝化聚磷菌(denitrifying phosphate-accumulating organisms, DPAOs)^[1~3]. DPAOs 具有和好氧聚磷菌极为相似的代谢特征^[4~6],它们以 NO_3^- 作为电子受体,利用内碳源聚 β 羟基丁酸酯(PHB),通过“一碳两用”的方式同时完成反硝化脱氮和吸磷过程,因此, NO_3^- 不再被视为吸磷过程的抑制性因素.

在各种 BNR 工艺中, MUCT(modified university

of cape town)工艺由于消除了硝酸盐氮对厌氧释磷过程的影响,强化了 BNR 工艺脱氮除磷的功能,而得到较为广泛的应用. 大量的运行结果表明,在该工艺的活性污泥中存在反硝化聚磷菌,不同 MUCT 工艺的缺氧吸磷性能和反硝化聚磷菌含量相差较大^[7].

收稿日期: 2011-01-24; 修订日期: 2011-05-29

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07207-005); 吉林建筑工程学院青年科技发展基金项目(J2009862069)

作者简介: 王晓玲(1977~),女,博士,主要研究方向为污水生物脱氮除磷技术, E-mail: smile_gyb@sina.com

* 通讯联系人, E-mail: hitjunyin@163.com

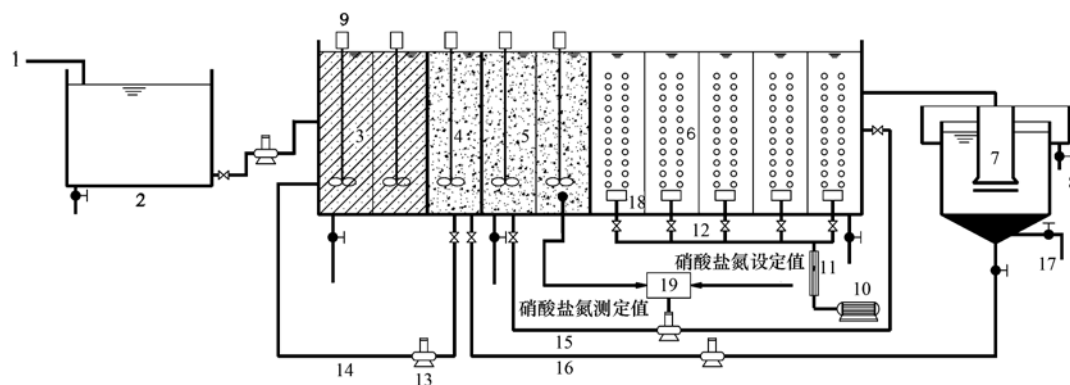
根据活性污泥反应动力学模型 2d (ASM2. d), $\frac{S_{\text{NO}_3^-}}{K_{\text{NO}_3^-} + S_{\text{NO}_3^-}}$ 是缺氧段反硝化速率和聚磷菌在缺氧环境中聚磷贮存速率的一个“开关函数”, 式中, $S_{\text{NO}_3^-}$ 是缺氧段硝酸盐氮的浓度, $K_{\text{NO}_3^-}$ 是半饱和常数 (取值为 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) [8]. Logndong [9] 的研究结果表明, 为了充分利用缺氧段的反硝化潜力, 需将该段的硝酸盐氮浓度控制在非零但值较低的范围。由此可见, 上述开关函数中的 $S_{\text{NO}_3^-}$ 控制着缺氧段的反硝化速率和聚磷贮存速率. Musvoto 等 [7] 的研究结果也表明, 在 MUCT 工艺中影响缺氧吸磷性能的主要因素是第二缺氧段的硝酸盐氮浓度, 即该段的硝酸盐负荷应该足够大或者超过普通异养菌的反硝化能力, 才会促进 DPAOs 的积累和生长. 根据理论分析和试验结果, 本研究进一步深入探讨了 MUCT 工艺在不同的第二缺氧段硝酸盐氮浓度条件下运行时的缺氧吸磷性能和

脱氮除磷效果, 以确定用该浓度作为反硝化脱氮除磷工艺运行优化参数的可行性.

1 材料与方法

1.1 试验装置

MUCT 系统试验装置如图 1 所示. 试验装置由有机玻璃制成, 为双廊道推流式矩形反应器, 有效容积为 90 L, 分为 4 个反应段, 分别为厌氧段、第一缺氧段、第二缺氧段、好氧段. 厌氧段和 2 个缺氧段内设有搅拌机以保持泥水混合液的悬浮状态, 压缩空气通过曝气砂头通入好氧段. 试验的进水流量、内循环混合液比 α 、内循环混合液比 γ 以及回流污泥比 s 等均由蠕动泵控制. 第二缺氧段硝酸盐氮浓度 $S_{\text{NO}_3^-}$ 利用硝酸盐氮在线检测仪实时监测, 采用 PI 控制器以保持其浓度为设定值. 整套系统通过水的重力流运转. 为便于取样, 各反应段侧壁上设多个取样口.



1. 进水; 2. 水箱; 3. 厌氧段; 4. 第一缺氧段; 5. 第二缺氧段; 6. 好氧段; 7. 沉淀池; 8. 出水; 9. 搅拌机; 10. 空气压缩机; 11. 转子流量计; 12. 空气管; 13. 蠕动泵; 14. 混合液内循环; 15. 硝化液内循环; 16. 污泥回流; 17. 剩余污泥; 18. 微孔曝气器; 19. PI 控制器

图 1 MUCT 工艺流程示意

Fig. 1 Schematic diagram of MUCT process

1.2 试验方案

试验以模拟生活污水为考察对象, 以啤酒作为 COD 的来源, 并投加少量的蛋白胨; 投加 NH_4Cl 配制进水氨氮浓度; 投加 KH_2PO_4 配制进水磷酸盐浓度; 配水过程中投加 NaHCO_3 补充进水碱度, 以满足硝化反应对碱度的要求; 投加 MgSO_4 和 CaCl_2 满足聚磷菌吸磷过程中对 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 等离子子的要求; 投加微量元素液满足活性污泥微生物生长繁殖的营养需要.

试验期间进水水质保持在一个水平, COD 浓度恒定为 $(290 \pm 10) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TN 浓度恒定为 $(55 \pm 0.5) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, TP 浓度恒定为 $(7.0 \pm 0.5) \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 将长春市西郊污水处理厂二沉池的回流污泥作为接种

污泥, 将其投加到试验装置中, 启动系统. 当系统脱氮除磷效果达到稳定状态时, 说明系统中活性污泥微生物已培养驯化成熟, 开始取样跟踪测定.

根据运行经验, 在以下 8 个设定的硝酸盐氮浓度条件下进行了试验研究: 0.5 、 1.0 、 1.5 、 2.0 、 2.5 、 3.0 、 3.5 、 $4.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 试验分为 8 个阶段, 每个阶段运行 30 d, 以保证每个试验阶段均稳定运行 20 d 左右. 在试验过程中, 调节硝化液内循环比控制第二缺氧段硝酸盐氮浓度. 进水量为 $10 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, 水力停留时间为 9 h. COD 污泥负荷为 $0.336 \text{ g} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$, 氨氮负荷为 $0.056 \text{ g} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$, TP 负荷为 $0.007 \text{ g} \cdot (\text{g} \cdot \text{d})^{-1}$. 厌氧段: 第一缺氧段: 第二缺氧段: 好氧段体积比为 $2:1:2:5$, s 为 0.5 , γ 为 1 . 好

氧段末端 DO 浓度控制在 $2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右. 通过向系统外排放剩余污泥控制污泥龄 θ_c 为 12 d, 剩余污泥排放量根据 Zhu 等^[10] 推荐的公式计算. 温度由温控仪控制在 $(20\pm1)\text{ }^{\circ}\text{C}$. 实时监测反应器的 DO、pH 值以及 ORP 值来反馈系统运行状态.

试验过程中测定 COD、TP、TN、 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、pH、水温、ORP、MLSS 等指标, 均采用国家规定的标准方法. 水样经离心机离心后测定. ORP、pH 测定采用 WTW-pH/OXi340 便携式在线测定仪.

试验过程中每天检测各种水质指标. 因水样经离心机离心后测定, 好氧段出水水质与沉淀池基本相同, 所以将好氧段出水各水质指标浓度作为工艺出水浓度. 利用统计学方法分析每个试验阶段稳定运行期间的测定结果, 分析用数据点的个数范围在 20~30 之间.

2 结果与讨论

2.1 $\text{S}_{\text{NO}_3^-}$ 与工艺的除磷性能

2.1.1 $\text{S}_{\text{NO}_3^-}$ 与除磷性能

表 1 给出了试验期间各反应段出水 TP 浓度. 从表 1 可以看出, 在整个试验期间厌氧段 TP 浓度最高, 在随后的第一缺氧段开始下降, 直到好氧段降至最低. 从表 1 还可以看出, 随着 $\text{S}_{\text{NO}_3^-}$ 的增加, 出水 TP 浓度逐渐降低, TP 去除率逐渐升高. 当 $\text{S}_{\text{NO}_3^-}$ 控制为 $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 出水 TP 浓度为 $3.15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, TP 去除率只有 54.06%. 当 $\text{S}_{\text{NO}_3^-}$ 增加到 $1.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 虽然出水 TP 浓度降低为 $1.29\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 但是仍然高于国家排放标准中的一级 A 标准, TP 去除率为 81.59%. 当 $\text{S}_{\text{NO}_3^-}$ 控制为 $2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 工艺出水 TP 浓度降低到 $1\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下, 为 $0.61\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 随后当 $\text{S}_{\text{NO}_3^-}$ 继续升高至 $2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 工艺出水 TP 浓度达到最低值 $0.53\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 此时的去除率为 92.23%. 此后, 随着 $\text{S}_{\text{NO}_3^-}$ 的升高, 工艺出水 TP 浓度有所回升, 去除率略有下降.

为了进一步评价 MUCT 工艺的强化除磷性能, 分别以每个反应段和整个工艺为系统边界, 基于测定的各段出水 TP 浓度的平均值(表 1)进行了物料平衡分析, 计算释磷量.

表 1 各反应器出水 TP 浓度¹⁾/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 1 Effluent TP concentration and P content in each bioreactor/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

反应器 ²⁾	$\text{S}_{\text{NO}_3^-}$							
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
ANA	24.17(0.36)	25.28(0.57)	26.09(0.54)	27.78(0.68)	27.78(0.91)	27.89(0.94)	27.89(0.81)	27.86(0.49)
ANO1	19.96(0.41)	20.69(0.86)	21.13(0.63)	22.79(0.48)	22.87(1.03)	22.86(0.56)	22.85(0.49)	22.88(0.71)
ANO2	11.46(0.66)	9.40(0.64)	7.53(0.85)	5.73(0.44)	4.39(0.77)	4.52(0.71)	4.48(0.63)	4.65(0.70)
AE	3.15(0.45)	2.30(0.52)	1.29(0.42)	0.61(0.21)	0.53(0.51)	0.65(0.44)	0.69(0.36)	0.86(0.27)
去除率/%	54.06(1.08)	66.75(1.37)	81.59(1.00)	91.46(0.95)	92.23(1.34)	90.42(1.03)	89.37(1.01)	87.03(0.96)

1) 表中数据为统计分析结果: 平均值(标准方差); 2) ANA 表示厌氧段, ANO1 表示第一缺氧段, ANO2 表示第二缺氧段, AE 表示好氧段, 下同

根据活性污泥微生物细胞物质的经验公式可知, 细胞物质中磷的质量分数一般为 1.5%~2.0%^[11], 故与释磷量和吸磷量相比, 同化去除的磷量较低, 所以在物料平衡分析过程中, 忽略用于微生物生长繁殖的磷. 在生物除磷过程中厌氧释磷是关键, 工艺除磷效果主要受厌氧释磷量的影响^[12]. 结合表 1 和表 2 分析可知, 工艺的释磷量与出水 TP 浓度呈反相关关系, 与 TP 去除率呈正相关关系, 即随着释磷量的增加出水 TP 浓度降低, TP 去除率升高. 聚磷菌在厌氧条件下的释磷反应需要易生物降解有机物质作为碳源. 根据研究报道可知, 若有硝酸盐氮进入厌氧段, 那么反硝化菌和聚磷菌将竞争污水中的有机碳源, 且反硝化菌在竞争中占有优势. 这可导致被聚磷菌吸收、贮存的有机碳源减少, 降低系统的除磷容量. 厌氧段释磷量和通过混合液内循环进入

到厌氧段的硝酸盐氮的量见表 2.

从表 2 中可以看出, 当 $\text{S}_{\text{NO}_3^-}$ 较低($\text{S}_{\text{NO}_3^-}$ 为 0.5、1.0、1.5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 时, 工艺出水硝酸盐氮浓度较高, 相应地随回流污泥进入到第一缺氧段的硝酸盐氮的量也较高, 超过了该段的反硝化潜力, 导致该段出水中含有硝酸盐氮, 部分硝酸盐氮随混合液进入到厌氧段, 使得聚磷菌和反硝化菌竞争碳源, 影响了厌氧段的释磷量, 降低了系统的除磷容量, 导致整个系统除磷效率较低. 而当 $\text{S}_{\text{NO}_3^-}$ 较高($\text{S}_{\text{NO}_3^-}$ 为 2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 时, 出水硝酸盐氮浓度较低, 进入到第一缺氧段的硝酸盐氮量低于该段的反硝化潜力, 所以该段出水硝酸盐氮浓度为 0, 对厌氧段的释磷过程无影响, 工艺保持了较高的释磷量, 获得了较好的除磷效果. 此外, 第一缺氧段也释放一定

表 2 厌氧段、第一缺氧段及好氧段硝酸盐氮浓度、硝酸盐氮反应量和释磷量

Table 2 NO_3^- -N concentration, relation amount of nitrification in ANA and ANO1, amount of P release

$S_{\text{NO}_3^-}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	硝酸盐浓度 ¹⁾ / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$		硝酸盐氮反应量 ²⁾ / $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$		释磷量 ³⁾ / $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$		总释磷量 (ANA + ANO1)
	ANO1	AE	ANA	ANO1	ANA	ANO1	
0.5	0.80(0.31)	18.91(0.51)	-0.192	-1.981	5.129	0	5.129
1.0	0.50(0.27)	17.07(0.47)	-0.120	-1.869	5.491	0	5.491
1.5	0.10(0.18)	15.84(0.63)	-0.024	-1.865	5.771	0	5.771
2.0	0	12.51(0.41)	0	-1.502	6.184	0.264	6.448
2.5	0	11.27(0.25)	0	-1.352	6.164	0.324	6.488
3.0	0	11.77(0.36)	0	-1.412	6.220	0.252	6.472
3.5	0	12.09(0.63)	0	-1.451	6.222	0.239	6.461
4.0	0	12.30(0.56)	0	-1.476	6.199	0.256	6.455

1) 数据为统计分析结果;平均值(标准方差); 2) 表示利用该段硝酸盐氮浓度的平均值计算的硝酸盐氮量的反应量,负值表示消耗硝酸盐氮; 3) 表示利用该段 TP 浓度的平均值计算的 TP 的释放量

量的磷. 从表 2 中还可以看出,当 $S_{\text{NO}_3^-}=2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,系统的释磷量最高,这与该浓度条件下出水 TP 浓度最低、TP 去除率最高的试验结果一致.

2.1.2 $S_{\text{NO}_3^-}$ 与缺氧吸磷性能

图 2 为利用物料平衡计算得出的不同 $S_{\text{NO}_3^-}$ 条件下的缺氧吸磷量 and 好氧吸磷量,其中数字为缺氧吸磷质量分数. 结合图 2 和表 2 进行分析可知,试验期间随着 $S_{\text{NO}_3^-}$ 的升高,总吸磷量(缺氧吸磷量 + 好氧吸磷量)具有与总释磷量(见表 2) 相同的变化趋势,这进一步证明了生物除磷的关键过程是厌氧释磷,释磷量的高低决定着吸磷量的高低及除磷效率的好坏. 从图 2 还可以看出,随着 $S_{\text{NO}_3^-}$ 的升高,缺氧吸磷质量分数也逐渐增加,从 $S_{\text{NO}_3^-}$ 为 $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时的 0.12 增加到 $S_{\text{NO}_3^-}$ 为 $2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时的 0.45. 然而当 $S_{\text{NO}_3^-}$ 继续增加时,缺氧吸磷量和缺氧吸磷质量分数均稍有降低.

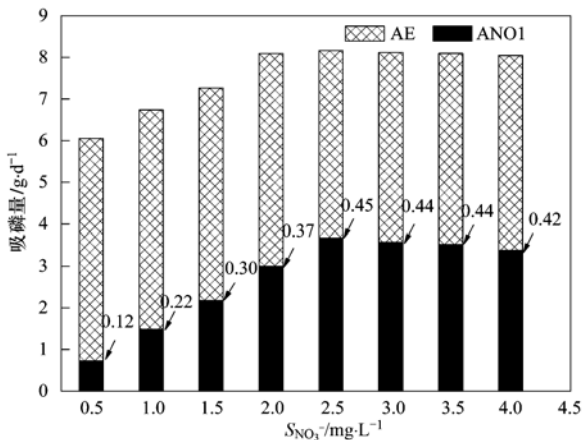


图 2 试验期间 $S_{\text{NO}_3^-}$ 与吸磷量的关系

Fig. 2 Relationship between $S_{\text{NO}_3^-}$ and P uptake during experiment

在 MUCT 工艺的第二缺氧段中,由于可利用的外碳源 COD 量较少,所以反硝化的主要供氢体是内碳源 PHB,反硝化聚磷菌的反硝化作用占有优势,即在还原硝酸盐氮的同时,大量的磷被吸收. Musvoto 等^[7]指出,在同步脱氮除磷活性污泥系统中,影响缺氧吸磷性能的因素是主要缺氧段的硝酸盐氮的量. 试验期间,第二缺氧段硝酸盐氮反应量见表 3.

表 3 试验期间 ANO2 内 NO_3^- -N 反应量

Table 3 Relation amount of NO_3^- -N in ANO2 during experiment

$S_{\text{NO}_3^-}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	硝酸盐氮反应量 ¹⁾ / $\text{g}\cdot\text{d}^{-1}$
0.5	-5.284
1.0	-5.654
1.5	-5.738
2.0	-5.789
2.5	-5.846
3.0	-5.790
3.5	-5.754
4.0	-5.536

1) 硝酸盐氮反应量利用各段浓度平均值计算得出; 负值表示反硝化的硝酸盐氮的量

根据活性污泥反应动力学 ASM2d 可知,当进入到第二缺氧段的碳源量一定时,该段反硝化速率及反硝化的硝酸盐氮量主要受该段的硝酸盐氮浓度和 DO 浓度的影响,与硝酸盐氮浓度呈正相关,与 DO 浓度呈反相关关系. 所以,第二缺氧段硝酸盐氮反应量是二者综合作用的结果. 从表 3 中也可看出,第二缺氧段硝酸盐氮的反应量随着 $S_{\text{NO}_3^-}$ 的增加而增加,当 $S_{\text{NO}_3^-}$ 增加为 $2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,该段的硝酸盐氮反应量增加至最高. 结合图 2,工艺的缺氧吸磷量的变化趋势与硝酸盐氮反应量一致,从 $S_{\text{NO}_3^-}=0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$

时的 $0.72\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ 增加到 $S_{\text{NO}_3^-}=2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时的 $3.67\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$. 而当 $S_{\text{NO}_3^-}$ 继续增加到 $3.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 缺氧吸磷量降低至 $3.57\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$. 分析其原因, 一方面, 在电子受体充足的条件下, 反硝化聚磷菌的最大反硝化潜力已经被充分利用; 另一方面, 随着内循环比增加, 内循环硝化液中携带的 DO 量增加, 从而抑制了缺氧磷的吸收过程. 因此, $S_{\text{NO}_3^-}=2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的缺氧环境最适合硝化聚磷菌的积累和生长, 此时系统具有最佳的缺氧吸磷性能, 不仅可最大程度地节省曝气消耗的能量, 而且减少了碳源消耗量, 这对于处理低 C/N 比污水的工艺来说有重要的工程意义.

2.2 $S_{\text{NO}_3^-}$ 与脱氮性能

试验期间各反应段出水氨氮和 TN 浓度见表 4, 出水硝酸盐氮浓度见表 2.

从表 4 中可知, 试验期间系统出水氨氮浓度的变化较小, 维持在 $2.30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右, 与 $S_{\text{NO}_3^-}$ 无关. 但第二缺氧段氨氮浓度随着 $S_{\text{NO}_3^-}$ 的增加而明显降低.

在 MUCT 工艺中, 引起各反应段氨氮浓度发生变化的原因主要有 4 个: 厌氧微生物水解含氮有机物的释放、微生物的同化作用、混合液或硝

化液内循环的稀释作用以及硝化作用等. 为了确定第二缺氧段氨氮浓度变化明显的主要原因, 以各反应段为系统边界, 利用各段出水氨氮浓度的平均值进行了物料平衡分析. 结果表明, 引起第二缺氧段氨氮浓度降低的主要原因为硝化液内循环比的稀释作用.

出水中的 TN 以硝酸盐氮为主, 其浓度变化是由硝酸盐氮浓度的变化引起的. 从表 2 和 4 中可以看出, 出水硝酸盐氮、TN 浓度随着 $S_{\text{NO}_3^-}$ 的增加而减少. 从表 3 中可以看出, 第二缺氧段硝酸盐氮的反应量随着 $S_{\text{NO}_3^-}$ 的增加而增加. 当 $S_{\text{NO}_3^-}$ 增加为 $2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时, 该段的硝酸盐氮反应量增加至最高, 出水硝酸盐氮浓度和 TN 分别为 11.27 和 $13.70\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 达到最低值. 但是当 $S_{\text{NO}_3^-}$ 继续增加时, 出水硝酸盐氮浓度和 TN 浓度都稍有增加, 说明当 $S_{\text{NO}_3^-}$ 增加到某一值后的再继续增加不能显著改善脱氮效率, 相反将增加系统的运行费用. 这是因为控制 $S_{\text{NO}_3^-}$ 所需要的较高的硝化液内循环比, 既将更多的氧气携带至第二缺氧段, 又使该段的实际水力停留时间缩短, 这直接影响反硝化过程的顺利进行. 因此, 在给定的试验条件和进水水质条件下, 存在最佳的 $S_{\text{NO}_3^-}$, 在本研究中为 $2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

表 4 各反应器出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TN 浓度¹⁾
Table 4 Effluent concentration of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and TN in each bioreactor

指标	反应器	$S_{\text{NO}_3^-}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$							
		0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	ANA	45.56(0.25)	45.56(0.31)	45.53(0.75)	45.57(0.67)	45.56(0.45)	45.55(0.81)	45.57(0.58)	45.56(0.65)
	ANO1	35.26(0.32)	35.63(0.61)	35.70(0.48)	36.70(0.55)	36.68(0.93)	36.67(0.39)	36.69(0.49)	36.68(0.73)
	ANO2	21.26(0.44)	19.08(0.36)	17.49(0.55)	14.63(0.23)	12.93(0.71)	12.78(0.67)	12.52(1.07)	12.27(1.05)
	AE	2.33(0.11)	2.31(0.33)	2.31(0.62)	2.31(0.45)	2.32(0.83)	2.28(0.56)	2.33(0.62)	2.29(0.55)
	去除率/%	95.40(0.78)	96.38(1.02)	95.16(1.49)	95.79(1.17)	96.33(1.71)	94.84(1.20)	95.27(1.45)	96.11(1.15)
TN/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	ANA	46.66(1.37)	45.96(1.18)	46.63(1.08)	47.67(1.96)	45.66(2.64)	47.65(1.48)	48.67(1.53)	45.96(1.41)
	ANO1	36.90(1.32)	36.90(1.06)	36.87(2.51)	36.91(1.29)	36.90(1.12)	36.89(1.07)	36.91(1.89)	36.90(1.65)
	ANO2	22.19(1.07)	20.52(1.53)	19.42(1.47)	17.06(1.86)	15.86(1.27)	16.23(2.43)	16.45(2.19)	16.70(1.51)
	AE	21.37(2.03)	19.54(2.15)	18.26(2.08)	14.97(1.44)	13.70(1.08)	14.21(1.43)	14.56(2.13)	14.71(1.07)
	去除率/%	59.95(3.12)	62.04(3.27)	64.45(3.16)	68.31(2.85)	71.48(2.14)	70.39(2.37)	70.43(3.14)	69.19(1.93)

1) 表中数据为统计分析结果; 平均值(标准方差)

3 结论

(1) 随着 $S_{\text{NO}_3^-}$ 的增加, 出水 TP 浓度存在最低值, 去除率存在最高值. 当 $S_{\text{NO}_3^-}$ 较低(0.5 、 1.0 、 $1.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 时, 厌氧段的释磷量受到影响, 系统的除磷容量降低, 最终导致系统除磷效率较低. 当 $S_{\text{NO}_3^-}$ 较高(2 、 2.5 、 3.0 、 3.5 、 $4.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 时, 回流污泥中

的硝酸盐氮对厌氧释磷过程无影响, 工艺可保持较高的释磷量并获得较好的除磷效果.

(2) 随着 $S_{\text{NO}_3^-}$ 的升高, 缺氧吸磷质量分数逐渐增加, 从 $S_{\text{NO}_3^-}$ 为 $0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时的 0.12 增加到 $S_{\text{NO}_3^-}$ 为 $2.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时的 0.45 . 但当 $S_{\text{NO}_3^-}$ 继续增加时, 缺氧吸磷量和缺氧吸磷质量分数均稍有降低.

(3) 在不同的 $S_{\text{NO}_3^-}$ 条件下, 系统出水氨氮浓度的

变化较小,维持在 $2.30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右. 出水中的 TN 以硝酸盐氮为主, TN 浓度随着 $S_{\text{NO}_3^-}$ 的增加而减少.

(4) $S_{\text{NO}_3^-}$ 可作为同步脱氮除磷工艺的运行优化参数,控制 $S_{\text{NO}_3^-}$ 可改变工艺出水 TP、TN 浓度,改善工艺缺氧吸磷性能. 当进水 C/N 比较低时, $S_{\text{NO}_3^-}$ 可控制为 $2.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

参考文献:

- [1] Chuang S H, Ouyang C F. The biomass fraction of heterotrophs and phosphate accumulating organisms in a nitrogen and phosphorus removal system [J]. *Water Research*, 2000, **34** (8): 2238-2290.
- [2] Lee J K, Choi C K, Lee K H, *et al.* Mass balance of nitrogen, and estimates of COD, nitrogen and phosphorus used in microbial synthesis as a function of sludge retention time in a sequencing batch reactor system [J]. *Bioresource Technology*, 2008, **99** (16): 7788-7796.
- [3] Wang J L, Peng Y Z, Wang S Y, *et al.* Nitrogen removal by simultaneous nitrification and denitrification via nitrite in a sequence hybrid biological reactor [J]. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2008, **16**(5): 778-784.
- [4] Bortone G, Libelli S M, Tilche A, *et al.* Anoxic phosphate uptake in the dephanox process [J]. *Water Science and Technology*, 1999, **40**(4-5): 177-185.
- [5] Wachtmeister A, Kuba T, Van Loosdrecht M C M, *et al.* A sludge characterization assay for aerobic and denitrifying phosphorus removing sludge [J]. *Water Research*, 1997, **31** (3): 471-478.
- [6] Mino T, Van Loosdrecht M C M, Heijnen J J. Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process [J]. *Water Research*, 1998, **32**(11): 3193-3207.
- [7] Musvoto E V, Casey T G, Ekama G A, *et al.* The effect of a large anoxic mass fraction and concentrations of nitrate and nitrite in the primary anoxic zones on low F/M filament bulking in nutrient removal activated sludge systems [R]. Research Report W77, Department of Civil Engineering, University of Cape Town, Rondebosch, 7701, Cape, South Africa, 1992.
- [8] Henze M, Gujer W, Mino T, *et al.* Activated sludge model NO. 2D [J]. *Water Science and Technology*, 1999, **39**(1): 165-182.
- [9] Londong J. Strategies for optimized nitrate reduction with primary denitrification [J]. *Water Science and Technology*, 1992, **26**(5-6): 1087-1096.
- [10] Zhu G B, Peng Y Z, Wang S Y. Hydraulic method of controlling solids retention time in step feed biological nitrogen removal process [J]. *Environmental Engineering Science*, 2007, **24** (8): 1111-1120.
- [11] 张锡辉, 刘勇弟. 废水生物处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003. 550.
- [12] 刘瑾, 高廷耀. 生物除磷机理的研究 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 1995, **23**(4): 387-391.

CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years	HE Ji-cheng (1)
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Atmospheric CH ₄ and CO by GC-FID Method at the Shangdianzi GAW Regional Station	WANG Wei, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (8)
Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010	ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, <i>et al.</i> (13)
Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province	WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (20)
Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert ...	DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, <i>et al.</i> (26)
Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene ...	WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (32)
Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring	DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (37)
Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring	XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, <i>et al.</i> (42)
Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijiang Basin, Northwest Yunnan	PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> (48)
Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River	CHEN Yong-jin, LI Wei-hong, DONG Jie, <i>et al.</i> (55)
Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill	MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i> (64)
Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff	HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (71)
Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (76)
Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration	CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, <i>et al.</i> (83)
Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO ₂	ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, <i>et al.</i> (88)
Effects of pH Value on the Adsorption and Degradation of 2,4-DCP by Nanoscale Zero-Valent Iron	FENG Li, GE Xiao-peng, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> (94)
Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System	CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, <i>et al.</i> (104)
Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province	SONG Da-ping, ZHUANG Da-fang, CHEN Wei (110)
Analysis of Membrane Fouling Genesis in Nanofiltration Process for Advanced Treatment of Dyeing and Finishing Wastewater	CAO Xiao-bing, LI Tao, ZHOU Lü, <i>et al.</i> (117)
Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon	XIE Zhi-gang, QIU Xue-min, ZHAO Yan-ling (124)
Impacts of pH and Surfactants on Adsorption Behaviors of Norfloxacin on Marine Sediments	PANG Hui-ling, YANG Gui-peng, GAO Xian-chi, <i>et al.</i> (129)
Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments	LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, <i>et al.</i> (135)
Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues	XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, <i>et al.</i> (142)
Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons	LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, <i>et al.</i> (147)
Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge	CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, <i>et al.</i> (156)
<i>In situ</i> Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> (163)
Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil	SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, <i>et al.</i> (169)
Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone	WANG Xiao-ling, JIN Yun, GAO Shang (175)
Modeling Formation of Aerobic Granule and Influence of Hydrodynamic Shear Forces on Granule Diameter	DONG Feng, ZHANG Han-min, YANG Feng-lin (181)
Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) on Municipal Sewage Sludge Bioleaching Continuous Plug Flow Reaction System	LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (191)
Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter	ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (197)
Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and <i>Spartina alterniflora</i> Residue After Producing Methane	CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, <i>et al.</i> (203)
Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing	CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, <i>et al.</i> (208)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme	YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (216)
Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (222)
Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae <i>Gymnodinium breve</i>	BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, <i>et al.</i> (228)
Toxic Effects of Nano-TiO ₂ on <i>Gymnodinium breve</i>	LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (233)
Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks	LI Yang, HU Xue-feng, OH Kokyo, <i>et al.</i> (239)
Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, JIA Jin-pan, LI Yuan-cheng, <i>et al.</i> (247)
Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk	LIU De-hong, WANG Fa-yuan, ZHOU Wen-li, <i>et al.</i> (253)
Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin	LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, <i>et al.</i> (260)
Characteristics of Heavy Metals in Soil Profile and Pore Water Around Hechi Antimony-Lead Smelter, Guangxi, China	XIANG Meng, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (266)
Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions	WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, <i>et al.</i> (273)
Remediation of Chromium(VI) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology	FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, <i>et al.</i> (280)
Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury	JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, <i>et al.</i> (286)
Effect of Zn (II) on Microbial Activity in Anaerobic Acid Mine Drainage Treatment System with Biomass as Carbon Source	LI Shao-jie, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (293)
Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil	ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, <i>et al.</i> (299)
Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (305)
Community Diversity of Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of Eight Plants in Liudaogou Watershed on the Loess Plateau China	FENG Ye, TANG Ming, CHEN Hui, <i>et al.</i> (314)
Dynamics of Degradation of Oxytetracycline of Pig and Chicken Manures in Soil and Mechanism Investigation	ZHANG Jian, GUAN Lian-zhu, YAN Li (323)
Influence of Impurities on Waste Plastics Pyrolysis: Products and Emissions	ZHAO Lei, WANG Zhong-hui, CHEN De-zhen, <i>et al.</i> (329)

《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1月15日 33卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 1 Jan. 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