

补加营养元素对活性污泥法处理工业废水的优化作用

方一丰, 林逢凯, 陆柱

(华东理工大学资源与环境工程学院, 上海 200237)

摘要: 本文研究了补加营养元素对活性污泥系统 COD 去除和氧消耗速率的影响, 营养元素包括氮、磷和一些微量金属离子等。由于工业废水中缺少一些微生物新陈代谢所必需的营养元素, 其会影响活性污泥系统处理废水的效率。加 N 或 P 营养元素都能提高活性污泥的新陈代谢能力, 无论 N/P 平衡与否, 补加金属离子 Co、Ca、Mo 和 Mn 都能提高活性污泥系统处理废水的效率, 而加 Cu 离子对系统有毒害作用。N/P 平衡时, 补加金属离子 Al 和 Fe 引起吸附效应, 而 N/P 不平衡时, 加 Al 对微生物的活性有毒害作用。营养元素的平衡能优化活性污泥系统对废水处理, 但要考虑不同营养元素之间相互作用对处理效果的影响。

关键词: 活性污泥; 工业废水; 营养元素; 氧消耗速率

中图分类号: X703.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2006)09-0015-04

微生物的生命活动需要 6 种大量元素 C、O、H、N、S 和 P, 主要是 C、N 和 P, 另外需要一些微量元素, 像金属离子等。在废水的生化处理中, 营养元素的比例是否合理直接影响活性污泥中微生物的新陈代谢, 从而降低废水处理的效率。许多工业废水中存在营养元素缺乏的问题, 比如: 食品加工废水^[1]、制药废水^[2]和化工废水等。营养元素的比例不合理会引起微生物种群结构的不完善, 从而造成废水处理效率下降和污泥膨胀的现象^[3]。

通过考察活性污泥系统氧消耗速率的变化和 COD 去除率的变化, 本文研究了补加 N、P 和各种金属离子等各种营养元素对活性污泥系统处理工业废水效率的优化效果。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

废水取自某一精细化工厂的废水, 其中含一定比例的有机物, pH 为 8.0。废水中 COD 的值为 315mg/L。电感耦合等离子体原子发射光谱仪 Plasma2000: 测定废水中各种营养元素的浓度, 由 Perlin-Elmer 公司研制生产。表 1 为活性泥系统对营养元素需求的理论浓度、实际浓度和补加浓度。

表 1 活性污泥系统对营养元素需求的浓度

Table 1 Nutrient element concentration needed for activated sludge system

营养元素	理论浓度 ^[4] (mg/L)	实际浓度(mg/L)	补加浓度(mg/L)
N	15.0	3.8	11.2
P	3.0	1.61	1.39
S	1.0	12	-
Ca	0.4~1.4	0.35	1.0
K	0.8~3.0	8.9	-
Fe	0.1~0.4	0.012	0.38
Mg	0.5~5.0	5.6	-
Mn	0.01~0.05	-	0.05
Cu	0.01~0.05	0.005	0.045
Al	0.01~0.05	-	0.05
Zn	0.1~1.0	-	1.0
Mo	0.1~0.7	-	0.7
Co	0.1~5.0	-	5.0

从表 1 可知, 废水中 S、K 和 Mg 等营养元素充足。根据活性污泥系统对营养元素的要求和实验的需要, 分别补加离子 Ca 为 1.0mg/L, Fe 为 0.38mg/L, Mn 为 0.05mg/L, Cu 为 0.045mg/L, Al 为 0.05mg/L, Zn 为 1mg/L, Mo 为 0.7mg/L, Co 为 5.0mg/L。金属离子 Fe、Cu、Al、Zn 和 Co 以 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 CuSO_4 、 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 ZnSO_4 和 CoSO_4 形式补加, 而 Mn、Mo 和 Ca 以 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 和 CaI_2 形式补加, 再折算成相应离

收稿日期: 2005-07-04

作者简介: 方一丰(1973-), 男, 博士, 主要从事水污染治理与控制技术的研究。联系电话: 13764504281; E-mail: fangyifeng@citi2.net。

子的浓度。试剂均为分析纯,由上海化学试剂公司提供。

活性污泥菌液:取自该公司的污水处理厂曝气池回流污泥。取来后,活性污泥经过 24h 空曝,用纱布滤去大块的杂质,经过离心(4000r/min)、电磁搅拌洗涤、浓缩,污泥浓度为 3g/L,作为试验用。

SKW-3 Warburg 呼吸仪:测试活性污泥系统消耗氧的量,上海交通大学研制生产。

1.2 实验方法

实验分成两部分,第一部分分别补加各类所缺的营养元素,而后测活性污泥系统的氧的消耗和 COD 的去除情况,第二部分补加 N、P 营养元素,使 COD:N:P 保持为 100:5:1,而后测加各类微量金属离子后活性污泥系统的氧的消耗和 COD 的去除效果。

用 Warburg 呼吸仪测试活性污泥系统消耗氧的量。呼吸仪内有 7 组反应瓶实验,把 4mL 活性污泥菌液与 2mL 的污水分别加到反应瓶内,一组为温压校正,一组为空白,另外 5 组补加对应浓度和种类的营养元素。反应时间 6h,温度为(25±1)℃,在恒温恒容条件下微生物利用污水基质进行代谢反应,试验结束后关闭振摇开关,调整各测压管,纪录开管液面读数,根据实验结果求出生化反应消耗氧的量。再根据反应时间和活性污泥浓度,转换为系统对氧的消耗速率。同时反应结束后,测污水的 COD 值,求出生化反应 COD 的去除量,而后也转换为 COD 去除速率。

1.3 分析方法

COD 重铬酸钾法。

2 结果与讨论

2.1 补加营养元素提高活性污泥系统新陈代谢的能力

从图 1(图 1 中,图注 1、2、3、4……与横坐标上 1、2、3、4……相对应,以下图 2~图 6 相同)和图 2 可以看出,无论 N/P 元素平衡与否,加金属离子 Co、Ca、Mo 和 Mn 都能提高微生物的活性,增加活性污泥系统的新陈代谢能力,氧的消耗速率分别是空白的 1.1、1.05、1.05 和 1.15 倍,COD 去除速率是 1.3、1.2、2 和 1.7 倍。Co 是合成维生素 B₁₂ 金属酶的激活剂,能促进 B₁₂ 的合成^[5]。Ca 是某些胞外酶的稳定剂,蛋白酶的辅因子^[6]。而 Mo 是硝酸根还原和醛类、嘌呤类氧化必不可少的,在微生物的生理功能中起重要作用^[7],锰是 Mn²⁺ 超氧化歧化酶、丙酮酸羧化酶

和精氨酸酶等的辅因子,是腺嘌呤核苷酸酶和一些水解酶的激活剂^[8]。

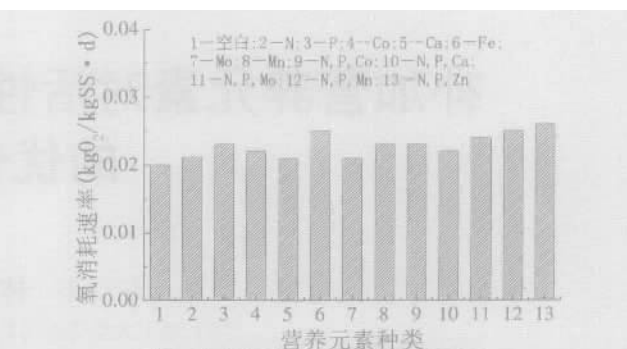


图 1 补加营养元素提高氧的消耗速率

Fig.1 Making-up nutrient elements to heighten oxygen consumption rate

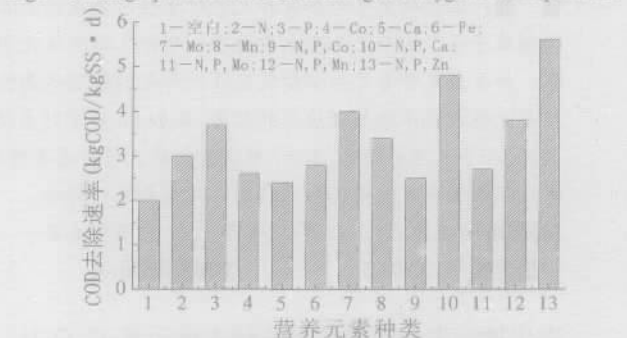


图 2 补加营养元素提高 COD 的去除速率

Fig.2 Making-up nutrient elements to heighten COD removal rate

在 N、P 元素缺乏,补加氮元素,氧的消耗速率是空白的 1.06 倍,COD 去除速率是 1.5 倍,而补加磷元素,氧的消耗速率是空白的 1.15 倍,COD 去除速率是 1.85 倍。N 是蛋白质、氨基酸和核酸的营养源,而 P 是核酸、磷酸和辅酶的组成部分,两者都对维持微生物正常生理功能起十分重要作用。

N/P 不平衡时,加 Fe 离子提高了活性污泥系统的新陈代谢能力,氧的消耗速率是空白的 1.25 倍,COD 去除速率是 1.4 倍。Fe 是一种重要的微量元素,可作为氧化细胞色素的电子受体,也可以作用于过氧化氢酶、过氧化物酶和顺乌头酸梅合成^[9],对微生物的活性起促进作用。

N/P 平衡时,加 Zn 离子也能提高微生物活性,氧的消耗速率是空白的 1.3 倍,COD 去除速率是 2.8 倍。Zn 离子是遗传物质 RNA 和 DNA 的组成部分^[10],在微生物的生命活动中起重要作用。

2.2 补加营养元素对活性污泥系统有毒害作用

从图 3 和图 4 可以反映出 N/P 不平衡时,加 Al 离子对活性污泥系统有毒害作用。活性污泥系统既减少了对氧的吸入量,同时也降低 COD 去除速率,与空白相比,氧消耗速率减少了 33%,COD 去除速

率减少了 35%,Al 离子阻碍了微生物的新陈代谢,减弱了微生物对含碳有机物和对氧的需求。

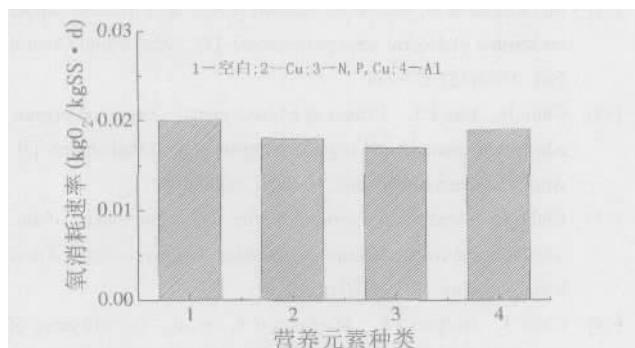


图3 补加营养元素降低氧的消耗速率

Fig.3 Making-up nutrient elements to lower oxygen consumption rate

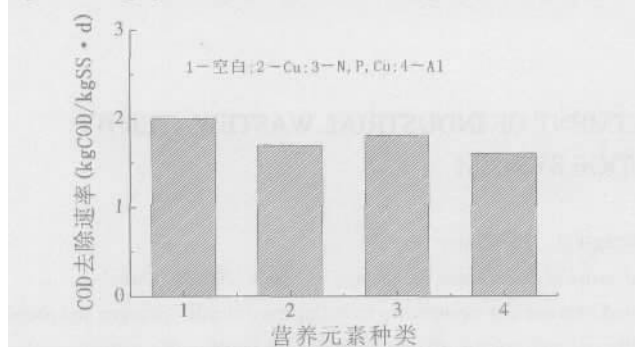


图4 补加营养元素降低 COD 的去除速率

Fig.4 Making-up nutrient elements to lower COD removal

无论 N/P 平衡与否,加 Cu 离子对对微生物的活性有毒害作用。在一定浓度范围内,Cu 离子可作为生物酶的激活剂,但超过一定浓度,就会对阻碍微生物的新陈代谢^[1]。

2.3 补加营养元素起吸附效应

图 5 和图 6 反映了补加营养元素能提高活性污泥系统 COD 的去除速率,但氧的消耗速率下降。COD 去除增加是由于部分基质被吸附到微生物的细胞壁上,而这是由外加元素引起的吸附效应。

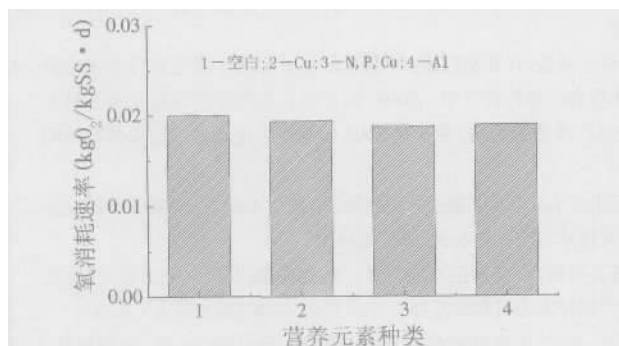


图5 补加营养元素对氧消耗速率的影响

Fig.5 Making up nutrient elements to lower oxygen consumption rate

N/P 不平衡时,加 Zn 离子起吸附效应,COD 去除速率是空白的 1.54 倍。Zn 离子是乙醇脱氢酶的

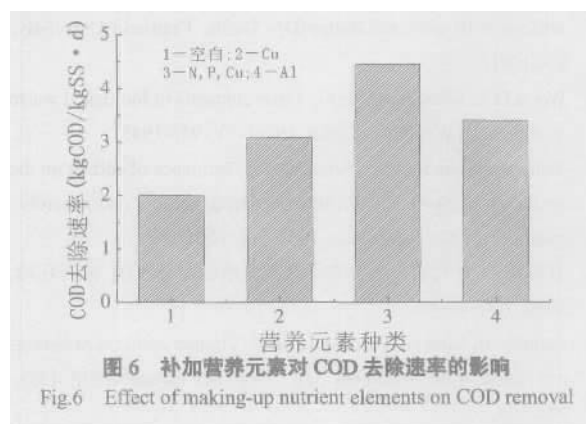


图6 补加营养元素对 COD 去除速率的影响

Fig.6 Effect of making-up nutrient elements on COD removal

辅助因子,广泛存在于一系列涉及糖、蛋白质和核酸的水解酶中,会影响糖、蛋白质和核酸的水解。补加离子 Zn 能增加细胞对胞外聚合物分泌,从而影响对其他物质的吸附^[12]。在 N/P 平衡时,加 Zn 离子对活性污泥系统的活性起促进作用,应考虑 N 和 P 元素的存在对 Zn 离子作用的影响。

N/P 平衡时,加离子 Fe 和 Al 起吸附效应,与空白相比,COD 去除速率分别增加了 122.5%和 70%。两者在活性污泥系统中起很好的絮凝效果,使活性污泥絮体大小和结构发生变化,促进与其他离子的共沉降^[13-14]。而在 N/P 不平衡时,加 Al 离子对系统中的微生物起毒害作用,加 Fe 离子起促进作用。故在补加营养元素应考虑元素之间相互作用对系统处理废水效率的影响。

3 结 论

工业废水中缺少一类活性污泥新陈代谢所需要的营养元素,其会影响活性污泥系统处理废水的效率。

保证营养元素的平衡等能提高活性污泥系统处理废水的效率,表现为系统氧消耗速率增加,而 COD 去除速率也提高。营养元素对活性污泥系统影响比较复杂,包括对系统的毒害作用和吸附效应。

添加一定种类和浓度的微量营养元素对活性污泥系统处理废水的效率影响需要考虑的因素很多,像原水的水质,微生物的种类和污泥的泥龄等,许多问题要做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 陈冰照,林梅.烤鳗废水活性污泥法处理中污泥膨胀的原因及控制[J].福建环境,2001,18(6):18-19.
- [2] 王凯军.活性污泥膨胀的机理和控制[M].北京:中国环境科学出版社,1992:78.
- [3] Gostik N. A study of the effect of substrate composition on the

- settlement of activated sludge[D]. Thesis, Cranfield University, UK, 1991.
- [4] Wood D K, Tchobanoglous G. Trace elements in biological waste treatment[J]. *Wat Pollut Contr.*, 1975(47):1933-1945.
- [5] Sathyanarayana Rao S, Srinath E G. Influence of cobalt on the synthesis of vitamin B₁₂ in sewage during aerobic and anaerobic treatment[J]. *Sci Indust Res.*, 1961, 20(c):261-265.
- [6] 高俊发, 乔华. 污水生物处理活化剂的研制与开发[J]. *陕西环境*, 2000, 7(3): 41-43.
- [7] Lemmer H, Lind G, Nitschke L, *et al.* Vitamin addition in biological waste water treatment [J]. *Wat Sci technol.*, 1998 (37): 395-398.
- [8] 杨频, 高飞. 生物无机化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 168-174.
- [9] 沈同, 王镜岩. 生物化学第二版[M]. 北京: 高等教育出版社, 1991: 64-69.
- [10] 周德庆. 微生物学教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 1994: 99-119.
- [11] McDermott G N, Post M A, Jackson B N, *et al.* Effects of copper on aerobic biological sewage treatment [J]. *Wat Pollut Control Fed.*, 1963(35):227-234.
- [12] Chun H, Hua F L. Effects of a heavy metal (Zinc) on organic adsorption capacity and organic removal in activated sludge [J]. *Appl Biochem Biotechnol.*, 1996(57/58):845-849.
- [13] Clark T, Stephenson T, Arnold-Smith A K. The impact of aluminum based co-precipitants on activated sludge process[J]. *Trans Inst Chem Eng.*, 1999, 77(B):312-36.
- [14] Clark T, Burgess J E, Stephenson T, *et al.* The influence of iron-based based co-precipitants on activated sludge process [J]. *Trans Inst Chem Eng.*, 1999, 78(B5):405-410.

NUTRIENT SUPPLEMENTS TO OPTIMIZE TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER BY ACTIVATED SLUDGE SYSTEM

FANG Yi-feng, LIN Feng-kai, LU Zhu

(College of Resource & Environmental Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: The process performance and metabolic rates of activated sludge dosed with nutrient supplements including trace metals, nitrogen and phosphorus were studied. The wastewater from the chemical plant didn't contain sufficient nutrients for efficient biological treatment, so the nutrient supplements had the possibility to optimize the performance of activated sludge process treating wastewater. Dosing nitrogen or phosphorus could improve the metabolic ability of activated sludge. Whether nitrogen/phosphorus was balanced or not, dosing cobalt, calcium, molybdenum and manganese could enhance the performance of activated sludge, but dosing copper would inhibit the activity of microorganisms. Aluminum and iron would cause adsorption action when N/P was balanced. Aluminum supplement inhibited the metabolic rates of the sludge when N/P was unbalanced. Nutrient addition can improve biological treatment, but the interaction between different nutrient elements must be considered.

Key words: activated sludge; industrial wastewater; nutrient; oxygen uptake rate

欢迎订阅 2007 年《给水排水》(月刊)

中国建筑科学类中文核心期刊 中国科技论文统计源期刊 中国期刊方阵双效期刊 建设部优秀期刊

《给水排水》杂志创刊于 1964 年,由中华人民共和国建设部主管,亚太建设科技信息研究院(建设部科技信息研究所)、中国建筑设计研究院、中国土木工程学会水工业分会主办,全国给排水技术信息网等单位协办。作为国内创刊最早,发行量最大,内容涵盖面最广的水行业综合性期刊,全面地记录了我国给排水事业发展的历程。

《给水排水》辟有城市给排水,工业给排水,建筑给排水,施工、材料与设备,计算机技术,标准规范交流园地等固定栏目和策略研讨,科技信息综述等机动栏目,刊载了大量以工程实践性为主、兼具学术性和信息性的文章。2006 年,结合行业的发展跟踪报道了供水水质安全保障技术、微污染水源水处理工程实例、污水处理厂与给水厂改造等内容,并针对 2008 年奥运会主场馆 - 国家体育场的给排水设计开设专栏进行了专题报道。

2007 年《给水排水》将在保持原有特色的基础上,重点报道流域污染控制,节水节能技术,村镇给水及污水处理,水质标准提高的对策等内容,欢迎踊跃投稿。本刊具有广告经营资格,可有效地促进相关技术与产品的引进、推广及应用。

《给水排水》在广大专家、作者和读者的支持下,已成为产、学、研各界交流、学习和提高的平台。欢迎各设计院、自来水公司、排水公司、运行管理部门、科研院所、建设安装单位、设备制造厂家等单位的工程技术人员和院校师生订阅 2007 年度《给水排水》杂志。

《给水排水》(月刊)为大 16 开本,每月 10 日出版,国内外公开发行。2007 年每册定价 9.00 元,全年定价 108.00 元。邮发代号:2-757。错过邮局订阅的读者,可直接在编辑部订阅。

地址:北京西外车公庄大街 19 号

邮编:100044

电话:010-68305036 68316321

传真:010-68305036 88378759

电子邮箱:gsp@vip.163.com

网址:http://www.wwe1964.com