

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	高清端,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,曾金峰,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)	

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¹, 姬晓琴¹, 李胜², 谢磊³, 赵海龙¹, 王晓昌¹

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 西安 710055; 2. 西安市污水处理有限责任公司, 西安 710025; 3. 西安市水业运营有限公司南郊水厂, 西安 710054)

摘要: SBR 反应器中培养自养硝化颗粒污泥, 在絮体转化为颗粒过程中, 颗粒的体积信息熵从 2.05 (27 d, 初见颗粒) 降低为 1.85 (95 d), 熵值降低的主要动力来自于松散的絮体在较快沉速选择压条件下被淘汰出系统。当絮体被淘汰出系统即完成颗粒化过程, 在 129 d 时测得系统中颗粒沉速分布的中位数为 $6.27 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$, 因此颗粒体积熵值的变化不再受沉速选择压 ($6 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$) 的控制。颗粒的粒径、沉速及体积熵值分布均呈现周期性变化, 其中信息熵的均值为 2.16, 最小值为 1.79, 最大值为 2.63。在这种周期性变化过程中, 系统总是表现为粒径均值先增大后减小。熵值的波动的驱动力来自于颗粒的破碎与破碎体的成长, 体积分布信息熵的大小可以很好地表征系统的稳定性及其稳定机制。

关键词: 硝化; 颗粒污泥; 信息熵; 粒径分布; 体积分布; 沉速分布

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)03-0885-04

Index of Stability and Its Mechanisms of Aerobic Granular System Using Volume-based Information Entropy

LI Zhi-hua¹, JI Xiao-qin¹, LI Sheng², XIE Lei³, ZHAO Hai-long¹, WANG Xiao-chang¹

(1. Key Laboratory of Northwest Water Resources, Environment and Ecology, Ministry of Education, School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Xi'an Wastewater Treatment Ltd., Xi'an 710025, China; 3. Southern Facility of Xi'an Water Operation Ltd., Xi'an 710054, China)

Abstract: Autotrophic nitrification granular sludge was cultivated in a sequencing batch reactor (SBR), the information entropy of volume distribution decreased from 2.05 (27 d, granules were firstly observed) to 1.85 (95 d) during granulation period. And the driving force for the decrease of information entropy could be ascribed to the washing out of flocs by means of the hydraulic selection pressure. After the granules formation stage finished, the median settling velocity of the granules system was $6.27 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ and the information entropy of volume distribution would not be controlled by the settling velocity selection pressure ($6 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$). It was found that the size, settling velocity and the volume-based information entropy periodically changed. The mean, minimum and maximum of information entropy were 2.16, 1.79 and 2.63, respectively, during the period from 122 d to 579 d. The mean size varied by the pattern of increase and decrease periodically. The driving force for the fluctuation of the information entropy was the smashing of the larger granular and the volume fragmentation growth, and the volume distribution of the information entropy could well indicate the stability of granular sludge systems.

Key words: nitrification; granular sludge; information entropy; size distribution; volume distribution; settling velocity distribution

好氧颗粒污泥具有密实的结构、优异的沉降性能、生物活性高、微生物种群丰富等诸多优点^[1, 2], 已成为污水处理工艺研究的热点。但好氧颗粒污泥系统难以长期稳定运行限制了该工艺的大规模应用。一种典型的情况是好氧颗粒污泥在形成初期结构密实、粒径或颗粒体积大小分布相对集中, 而在后期往往会有大量体积较大但结构松散的絮体存在, 因此从基质分配角度而言, 前期主要为体积较小的絮体与密实结构颗粒之间的竞争, 密实结构颗粒因为具有良好沉淀性能在较快的沉速条件下获得竞争优势; 而在后期由于所有颗粒均能满足最低沉速要求, 基质竞争主要存在于不同体积大小的颗粒之间, 并且也存在于颗粒的表面与内部之间, 前者对于不

同体积分布必然会导致不同的基质分配形式进而引起不同体积颗粒生长速度不一致, 后者会导致颗粒生长的表面化, 内部水解化, 进而导致颗粒解体。由此可见, 粒径及由粒径引起的体积分布的控制对颗粒污泥的稳定具有重要的意义, 然而目前对此问题的定量描述却缺少系统的研究。

为此, 本研究以自养硝化系统为基本对象, 通过分析其颗粒不同阶段的粒径等形态特征, 采用信息

收稿日期: 2011-05-01; 修订日期: 2011-07-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(51078303); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(200807030001); 陕西省青年科技新星项目(2010KJXX-07); 陕西省教育厅项目(11JK0764)

作者简介: 李志华(1976~), 男, 博士, 教授, 主要研究方向废水生物处理技术与理论, E-mail: lizhihua@gmail.com

熵作为体积分布特征定量描述的基本参数,探讨该系统在不同阶段颗粒体积分布信息熵的变化特征及其与颗粒结构之间的内在联系,寻求以体积分布信息熵作为基本参数的颗粒稳定性的定量描述方法。

1 材料与方法

1.1 实验装置及流程

实验用 SBR 反应器材质为有机玻璃,外径 10 cm,内径 5 cm,有效高度 100 cm,有效容积为 2 L,系统运行初期,进水 5 min,曝气 160 min,沉淀 10 min,排水 5 min,采用气泵经玻璃砂芯从反应器底部曝气,气流速率为 $1 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,反应器 DO 维持在 $6 \sim 8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,反应器中部排水,每周排水 1 L,通过水浴维持温度在 $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 。反应器运行到 390 d 左右调整周期长度,进水 5 min,曝气 280 min,沉淀 10 min,出水 5 min,其他运行条件不变。

1.2 进水水质与接种污泥

进水水质如下 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$): 525 NaHCO_3 , 43.9 KH_2PO_4 , 229.3 (60) NH_4Cl ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$), 90 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 14 $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$,按照 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的比例加入微量元素,组成如下 ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$): 1.5 $\text{FeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.15 H_3BO_3 , 0.03 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.18 KI , 0.15 $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.12 $\text{MnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 0.06 $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.12 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 10 EDTA。接种污泥来自西安市北石桥污水处理厂 DE 型氧化沟。

1.3 分析方法

采用 Nikon ECLIPSE 90i 电子显微镜及数码相机观察自养菌好氧颗粒污泥形态,自养菌好氧颗粒污泥的沉速的测定方法采用自由沉淀法。

1.4 自养硝化颗粒系统粒径分布信息熵

信息熵可以表征系统中某种特定信息的有序化程度。一个系统越是有序,信息熵就越低;反之,系统越是混乱,信息熵就越高。颗粒体积的信息熵可以描述体积的有序化程度,熵值减小即体积分布趋于集中,颗粒间差异较小,熵值增大即体积分布趋于分散,颗粒间差异较大。有研究表明粒径 $> 10 \mu\text{m}$ 的颗粒其粒径 (d) 服从对数正态分布^[3],由于颗粒在系统中是以空间体积存在,计算过程均以颗粒污泥体积 (d^3) 的自然对数值为基础。Shannon 等^[4]在 1949 年提出了正态分布条件下离散变量熵值计算方法:

$$H_G = \frac{1}{2} \log_2 (2\pi\delta^2 e)$$

式中, H_G 为离散变量的熵; δ 为颗粒体积分布标准偏差; e 为自然对数底, 2.718。

2 结果与讨论

2.1 系统颗粒粒径、沉速分布及信息熵特征

由粒径分布[图 1(b)]可知,系统运行 27 ~ 95 d 过程中,该阶段颗粒粒径均位于 1 mm 以下,由平均粒径增长速率[图 1(c)]可知,该阶段颗粒粒径平均增长速率在 $0 \sim 4 \mu\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$ 之间。系统运行到 122 d 以后粒径分布呈现出周期性变化,粒径增长到一定阶段伴随着大颗粒的消失,破碎体的形成表现为平均粒径的负增长过程,出现粒径快速增长与粒径负增长过程,如 402 ~ 409 d 平均粒径增长速率一度达到 $41 \mu\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$, 409 ~ 421 d 粒径平均增长速率变为 $-9 \mu\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$ 。颗粒的粒径呈周期性变化,系统总是表现为粒径均值先增大后减小。

由沉速分布[图 1(d)]可知,颗粒系统在运行过程中沉速分布与粒径分布呈现同步变化趋势,沉速分布从 27 d 的 $1.38 \sim 4.42 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$,变化到 129 d 的 $3.55 \sim 9.31 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$, 129 d 时 50% 以上颗粒沉速分布在 $6 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上, 395 d 以后,由于系统要求的最低沉速选择压调整到 $3 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$,而系统中颗粒沉速维持在 $3.11 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上,故系统中破碎体颗粒均能在反应器中沉淀。

由信息熵分布[图 1(a)]可知, 27 ~ 95 d 过程中,由于系统中仍然有絮体污泥的存在,颗粒化过程中熵值呈现逐渐降低的过程,信息熵从 2.05 (27 d, 初见颗粒)降低为 1.85 (95 d),在此后运行过程中信息熵值呈现出周期性变化, 395 d 出现观察阶段的最大值 2.63, 572 d 出现最小值 1.79, 122 ~ 579 d 过程中信息熵的平均值为 2.16。熵值呈周期性变化,其中平均熵值为 2.16,最小值为 1.79,最大值为 2.63。

2.2 讨论

自养硝化颗粒系统运行 27 ~ 95 d 熵值从 2.05 逐步减小到 1.85,这阶段系统中颗粒粒径均小于 1.00 mm,粒径缓慢增长与系统中絮体污泥的存在有关,颗粒化过程表现为熵值减小即体积分布趋于集中,熵值降低的主要动力来自于松散的絮体在较快沉速条件下被淘汰出系统。当絮体被淘汰出系统即完成颗粒化过程,在 129 d 时测得系统中颗粒沉速分布的中位数为 $6.27 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$,即满足沉速选择压 ($6 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$) 的要求,因此颗粒体积分布熵值的变化不再受沉速选择压的控制。

系统运行到 395 d,熵值由 365 d 的 2.00 增大到 2.63, 365 ~ 395 d 粒径呈两极化发展趋势,但平

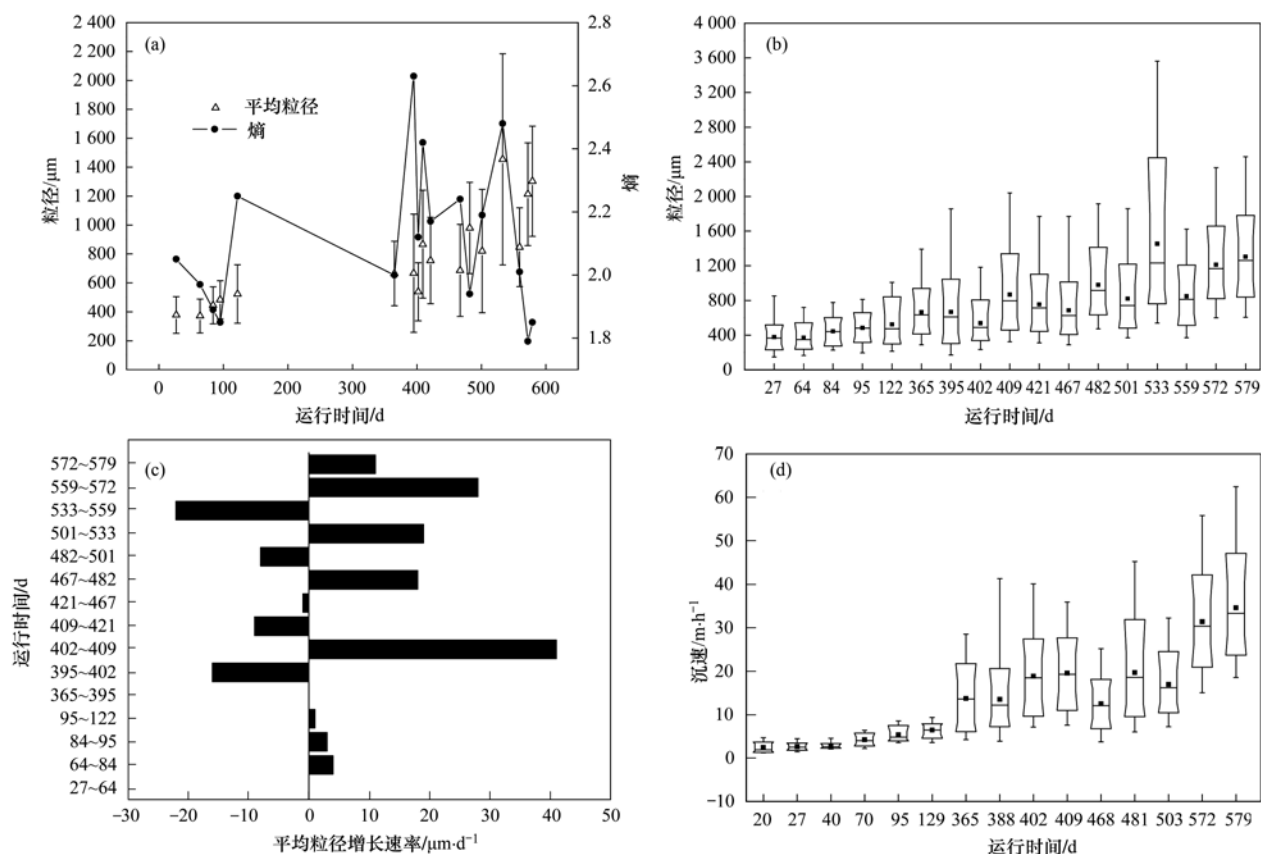


图1 信息熵、粒径、沉速分布及平均粒径增长速率

Fig. 1 Information entropy, size, settling velocity distribution and the mean size growing velocity

均粒径仍维持在 365 d 时的 0.67 mm, 小颗粒一方面可能来自大颗粒的解体破碎^[5, 6], 此外注意到在 390 d 左右, 沉淀时间由 5 min 增加到 10 min, 大于此时所需沉速选择压 ($3 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$) 而 $< 6 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$ 的小颗粒得以在反应器中沉淀. 395 ~ 402 d 粒径分布在 1.30 ~ 1.90 mm 内的颗粒消失, 说明大颗粒在基质竞争过程中生长出现表面化、内部水解化导致解体破碎, 破碎体由于沉淀速率较高 ($> 3 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$), 无法被淘汰出反应器, 出现破碎体与其他颗粒之间的基质竞争, 破碎体由于粒径较小易于获得基质, 得以更快速的生长, 表现为系统颗粒体积趋向于集中, 出现熵值由 2.63 减小到 2.12 的过程. 402 ~ 409 d 系统平均粒径增长速率为 $41 \mu\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$, 平均粒径快速增长反映了破碎体中微生物具有很高的生物活性, 随着破碎体的成长, 竞争优势逐渐削弱, 粒径分布在 1.3 ~ 2.2 mm 内的大颗粒出现, 体积分布逐步扩大, 熵值由 402 d 的 2.12 增大到 2.42. 再由 409 ~ 421 d 粒径分布在 1.80 ~ 2.20 mm 内的颗粒消失, 熵值减小到 2.17, 反映了 409 d 体积分布扩大系统呈现不稳定状态. 大量破碎体的产生, 使 467 ~ 482 d 平均

粒径增长速率达到了 $18 \mu\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$, 体积分布趋于集中, 熵值减小到 1.94. 501 ~ 533 d 平均粒径增长速率为 $19 \mu\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$, 熵值增大到 2.48, 由 533 d 粒径分布及体积熵值增大可以推断粒径最终会向大颗粒破碎且粒径集中的方向发展, 由 533 ~ 559 d 平均粒径增长速率 $-22 \mu\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$, 1.72 ~ 3.70 mm 范围内的颗粒消失, 可知 533 d 粒径分布过大导致系统不稳定. 559 ~ 572 d 系统中大量破碎体的存在使得平均粒径增长速率达到 $28 \mu\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$, 熵值由 2.01 减小到 1.79; 572 ~ 579 d 粒径分布范围小幅度增加, 熵值由 1.79 增大到 1.85, 可见, 大颗粒解体后的一定阶段, 随着破碎体的成长, 熵值减小, 但伴随着破碎体粒径及体积的增大, 其竞争优势逐渐削弱, 粒径分布与体积分布逐步扩大, 熵值相应增大, 由此可知, 熵值变化的驱动力来自于颗粒的破碎与破碎体的成长.

3 结论

(1) 在颗粒化初期 (由絮体转化为颗粒), 由于所形成的颗粒粒径较小 ($< 1.00 \text{ mm}$), 颗粒的体

积信息熵从 2.05 (27 d, 初见颗粒) 降低为 1.85 (95 d), 因此, 颗粒化过程表现为熵值减小即体积分布趋于集中, 熵值降低的主要动力来自于松散的絮体在较快沉速 ($6 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$) 条件下被淘洗出系统.

(2) 当絮体被淘洗出系统即完成颗粒化过程, 在 129 d 时测得系统中颗粒速度分布的中位数为 $6.27 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$, 即满足沉速选择压的沉速要求, 因此颗粒体积熵值的变化不再受沉速选择压的控制.

(3) 颗粒的粒径、沉速以及体积熵值均呈现周期性变化, 其中平均信息熵为 2.16, 最小值为 1.79, 最大值为 2.63. 在这种周期性变化过程中, 系统总是表现为粒径均值先增大后减小, 在颗粒化系统中, 熵值的波动的驱动力来自与颗粒的破碎与破碎体的成长, 在颗粒化系统中, 熵值波动的驱动力来自于颗粒的破碎与破碎体的成长, 体积分布信息熵的大小可以很好地表征系统的稳定性.

参考文献:

- [1] Liu Y Q, Liu Y, Tay J H. The effects of extracellular polymeric substances on the formation and stability of biogranules [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2004, **65**(2): 143-148.
- [2] Liu Y Q, Tay J H. Variable aeration in sequencing batch reactor with aerobic granular sludge [J]. *Journal of Biotechnology*, 2006, **124**(2): 338-346.
- [3] Wilén B M, Balmér P. The effect of dissolved oxygen concentration on the structure, size and size distribution of activated sludge flocs [J]. *Water Research*, 1999, **33**(2): 391-400.
- [4] Shannon C E, Weaver W. The mathematical theory of communication [M]. University of Illinois Press, 1949. 54-58.
- [5] Wang Z W, Liu Y, Tay J H. The role of SBR mixed liquor volume exchange ratio in aerobic granulation [J]. *Chemosphere*, 2006, **62**(5): 767-771.
- [6] Tjihuis L, Huisman J L, Hekkelman H D, *et al.* Formation of nitrifying biofilms on small suspended particles in airlift reactors [J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 1995, **47**(5): 585-595.

CONTENTS

Stable Carbon Isotope of Black Carbon from Typical Emission Sources in China	CHEN Ying-jun, CAI Wei-wei, HUANG Guo-pei, <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