

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)	

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

(北京林业大学环境科学与工程学院, 水污染源控制与生态修复工程中心, 北京 100083)

摘要: 采用烧杯试验研究了活性污泥理化性质与絮凝调理投药量的关系, 分析了活性污泥离心上清液黏度及其中胶体的 Zeta 电位和表面电荷密度、污泥絮体的粒度、分形维数和强度等理化性质指标随调理絮凝剂 (CPAM, CZ-8698) 投药量的变化规律, 探讨了这些指标在确定絮凝调理最佳投药量方面的差异。结果表明, CZ-8698 的投药量对污泥的脱水性能和理化性质均可产生明显的影响, 基于毛细吸水时间 (CST)、污泥比阻 (SRF) 确定的活性污泥絮凝调理的最佳投药量范围为 $4.28 \sim 7.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 对应的 CST 与 SRF 值分别为 $(12.62 \pm 1.39) \text{ s}$ 、 $0.56 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。在此最佳投药量区间, 污泥离心上清液中胶体的 Zeta 电位与表面电荷密度均由负值变为正值, 污泥絮体的分形维数分别为 1.09 (一维) 和 1.51 (二维), 其表面不规则程度最低、结构较为密实; 污泥絮体的粒径随着絮凝剂投药量的增加持续增大到 mm 尺度, 但其强度在投药量高于 $4.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以后逐渐趋于稳定。此外, 当絮凝剂投药量低于上述最佳范围时, 污泥离心上清液的黏度已经达到了最小值 $(1.24 \pm 0.04) \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 。

关键词: 活性污泥; 脱水性能; 絮凝调理; 投药量; 理化性质

中图分类号: X705 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)03-0889-07

Relationship Between Physicochemical Characteristics of Activated Sludge and Polymer Conditioning Dosage

LI Ting, WANG Yi-li, FENG Jing, XU Meng

(Research Center for Water Pollution Source Control and Eco-Remediation, College of Environmental Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Jar test was employed to determine the relationship between physicochemical characteristics of activated sludge (AS) and polymer conditioning dose. The evolutions of indexes representing the AS physicochemical characteristics, such as the viscosity of AS centrifugal supernatant, zeta potential and surface charge density of colloids in it, size, fractal dimensions and strength of AS flocs, with polymer doses of CZ-8698 in flocculation conditioning process were recorded and analyzed. In addition, the difference in determining the optimum dosage of AS conditioner was identified among the aforementioned indexes. The results showed that CZ-8698 doses had a great impact on the dewaterability and physicochemical characteristics of AS. The range for optimum CZ-8698 dose was $4.28 \sim 7.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ on the basis of capillary suction Time (CST) and specific resistance to filtration (SRF) test, and the corresponding values for CST and SRF were $(12.62 \pm 1.39) \text{ s}$ and $0.56 \times 10^{12} \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. In this optimum range, both the zeta potential and surface charge density of colloids in AS centrifugal supernatant changed into positive values from negative ones, and AS flocs showed the most irregular boundary or surface and much compact structure, which was demonstrated by their fractal dimensions of 1.09 (one-dimensional fractal dimension, D_1) and 1.51 (two-dimensional fractal dimension, D_2). Although AS flocs grow up to millimeters scale with the increase of CZ-8698 doses, the strength of these flocs gradually tended to keep constant at the conditioner doses higher than $4.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Furthermore, when conditioner dosage was much less than above optimum dosage range, the viscosity of AS centrifugal supernatant reach the minimum value $(1.24 \pm 0.04) \text{ mPa} \cdot \text{s}$.

Key words: activated sludge; dewaterability; flocculation conditioning; dosage; physicochemical characteristics

伴随着我国城市污水处理厂的高速建设, 剩余活性污泥已经成为城市污水处理行业中面临的严峻问题。截至 2010 年, 全国污泥产量高达 $3.7 \times 10^7 \text{ m}^3$ (以含水率 80% 计), 预计“十二五”期间, 污泥的产量将以 $2.46 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ 的速度增长, 这些大量污泥废弃物的处理处置将逐渐成为人们关注的焦点^[1,2]。

研究表明^[3~11], 物理和化学调理是影响污泥脱水性能的关键过程, 它们可以大幅度提高污泥的脱水效果、显著降低其含水率和体积。在污泥调理技术的研究与应用中, 絮凝调理已经成为城市污水处理

厂中应用较为广泛的污泥调理方法, 对于其影响因素和过程机制的研究也成了目前该领域的热点问题。已有的研究表明: 影响污泥絮凝调理效果的关键因素包括污泥特征、絮凝剂的种类、投药量、剪

收稿日期: 2011-04-02; 修订日期: 2011-08-02

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51078035, 20977008); 高等学校博士学科点专项科研基金项目 (20100014110004); 中央高校专项基金北京林业大学科技创新计划项目 (JC2011-1, TD2010-5); 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07422-002-004); 北京市科技新星 A 项目 (2006)

作者简介: 李婷 (1986 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境污染防治技术, E-mail: lthu_student@163.com

* 通讯联系人, E-mail: wangvil@mail@126.com

切条件等. 在工程应用中, 对于某一特定的污泥, 当絮凝剂种类和污泥输送管道系统确定后, 絮凝剂的投药量就成为影响调理效果的主要因素, 因此污泥调理最佳投药量的确定就成为诸多学者关注的焦点, 他们相继提出了毛细吸水时间 (capillary suction time, CST)、污泥比阻 (specific resistance to filtration, SRF)、流变曲线的峰值^[3~7]、离心上清液黏度^[5]、流动电流 (SC)^[3,7,8]、修正的污泥比阻 (Modified SRF)^[9]、30 min 沉降高度 (CLM30)^[10,11]、Zeta 电位、分形维数^[9,15]、粒度等确定最佳投药量的指标^[4,6,8~11]. 然而, 基于上述各种指标所确定的最佳投药量之间依然存在一定的差异. 譬如, 尽管 CST 和 SRF 可以有效地指示污泥的脱水性能, 但以这 2 个指标确定的最佳投药量常常不一致^[5,12~14]. 此外, Zhao 和 Wang 等^[9,15] 分别对给水厂污泥和污水处理厂消化污泥的絮凝调理与脱水过程进行了研究, 结果表明, 污泥颗粒的分形维数与修正的污泥比阻、CST 值确定的最佳投药量不同, 因此分形维数在确定污泥絮凝调理的最佳投药量方面尚未有明确的结论. 由此可见, 在确定污泥絮凝调理最佳投药量时, 这些表征污泥理化性质的指标与最佳投药量之间的关系及其适用范围尚不明确; 此外, 对于污泥体系而言, 其组分的时空变化对于絮凝调理技术也带来了严峻的挑战^[4,15]. 上述问题对于污泥絮凝调理技术的推广和应用必然造成严重的阻碍, 因此研究污泥的理化性质与絮凝调理投药量之间的关系是目前急需关注的内容之一.

本研究拟采用阳离子聚丙烯酰胺 (CZ-8698) 对活性污泥进行调理, 探讨絮凝调理前后活性污泥脱水性能的变化, 分析离心上清液中胶体的 Zeta 电位、表面电荷密度和污泥絮体的形态学特征以及强度等与絮凝调理投药量之间的关系, 比较上述各参数在确定调理絮凝剂最佳投药量方面的差异, 以期污泥絮凝调理技术的发展提供支撑.

1 材料与方法

1.1 活性污泥样品

本研究中所使用的活性污泥样品采自北方某城市的污水处理厂, 其日处理能力约为 $6.0 \times 10^5 \text{ m}^3$, 采样时间分别为 2010 年的 11 月 23 日和 12 月 8 日. 这些 A²/O 工艺的剩余污泥样品被迅速送至实验室, 立即进行污泥絮体的图像拍摄、絮凝调理试验及相关性质的测试, 上述试验在 3~4 d 内完成. 其中, 活性污泥样品 2 次采样的含水率均为 99.3% ±

0.01%, pH 分别为 7.36 ± 0.28 、 7.06 ± 0.58 , MLSS 分别为 $(7.02 \pm 0.005) \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $(6.52 \pm 0.005) \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 相应的 MLVSS/MLSS 处于 65%~69% 之间.

1.2 絮凝调理流程

活性污泥的絮凝调理所采用的有机高分子絮凝剂为阳离子型聚丙烯酰胺 CPAM (CZ-8698, cationic polyacrylamide, 相对分子质量为 1.2×10^6 , 北京北科绿洁环保科技有限公司), 其表面电荷密度为 $1.5650 \text{ meq} \cdot \text{g}^{-1}$. 在调理试验开始前, 首先配制一定体积的浓度为 $5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CZ-8698 稀溶液, 用封口膜密封后, 置于 4℃ 冰箱中冷藏. 絮凝调理过程中 CZ-8698 絮凝剂的投加量 (以污泥 SS 计) 依次为: 0、1.43、4.28、7.13、14.25、21.38 和 $28.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

活性污泥的絮凝调理试验程序如下^[15,16]: 量取 500 mL 污泥于六联搅拌器 (JTY-6 型, 唐山大昌化工公司) 专用的 1L 有机玻璃烧杯中, 然后进行 $800 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ($G = 626.75 \text{ s}^{-1}$) 的快速搅拌, 在搅拌开始后, 迅速加入定量的 $5.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CZ-8698 溶液, 持续搅拌 1min 后降低搅拌转速至 $62 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ($G = 29.35 \text{ s}^{-1}$), 继续搅拌 5 min. 上述过程完成后采集污泥调理后的样品进行污泥性质的测试与分析, 结果取 3 次平行试验的平均值, 并且计算相应的标准偏差.

1.3 污泥性质的测试方法

1.3.1 脱水性能

采用毛细吸水时间测定仪 (304M 型, Triton Electronics) 测定污泥的毛细吸水时间 (CST). 其试验装置如图 1 所示, 取一定体积的原始污泥或者絮凝调理后的污泥样品, 快速注入直径为 18 mm 的不锈钢圆柱中, 在 Whatman 17 号滤纸所产生的毛细吸水压力的驱动下, 污泥中的水分流动到电极 a 时仪器开始计时, 扩散到 b 时仪器报警并结束计时, 期间所用的时间即为污泥样品的 CST 值.

污泥比阻 (SRF) 表示单位质量的污泥在一定压力下过滤时在单位过滤面积上的阻力. 其检测是采用图 2 所示的自制装置. 相应的操作程序如下: 量取一定体积的污泥样品于布氏漏斗中, 采用 0.038 MPa 真空度进行抽滤. 记录过滤时间 $t(\text{s})$ 和相应的滤液体积 $V(\text{m}^3)$, 然后利用 t/V 对 V 作曲线, 该曲线的斜率为 b .

$$b = \frac{\mu r c}{2pA^2} \quad (1)$$

$$r = \frac{2pA^2 b}{\omega \mu} \quad (2)$$

式中, p 为过滤压强 (MPa), A 为过滤面积 (m^2), μ 为滤液的动力黏度 ($\text{kg}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$), ω 为滤过单位体积滤液在过滤介质上截留的干固体重量 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

根据公式(2), 计算污泥比阻 $r(\text{m}\cdot\text{kg}^{-1})$.

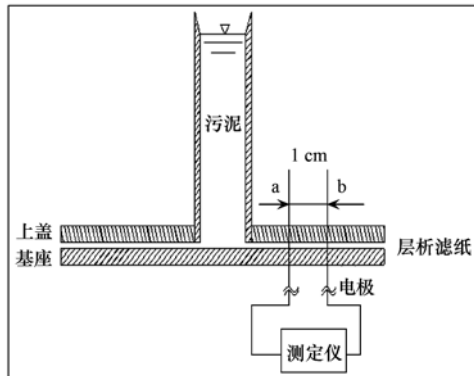


图1 CST测定装置示意

Fig. 1 Schematic diagram of CST testing instrument

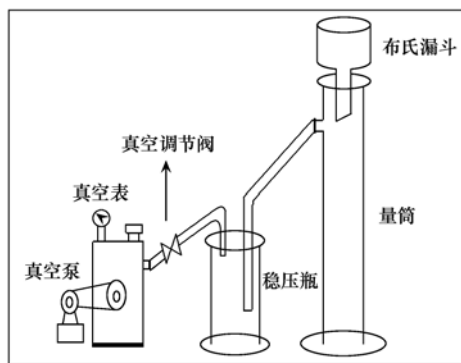


图2 SRF测定装置示意

Fig. 2 Schematic diagram of SRF testing device

1.3.2 理化性质

对11月23日采集的原始污泥及其絮凝调理的絮体样品, 测其离心 ($2\,200\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 下离心5 min) 上清液的 Zeta 电位^[12,13,15~17] (Zetasizer 2000, Malvern Instruments 公司, 英国)、黏度 (DV-III +, Brookfield, 美国) 和胶体粒子表面电荷密度 (胶体滴定法^[18,19]).

对12月8日采集的样品, 根据文献[20]的方法测定污泥剪切前后的粒径 (Mastersizer2000, Malvern Instruments 公司, 英国), 根据粒径计算污泥絮体强度 FS (floc strength). FS 可以表征污泥絮体的强度, 其值较低时, 表示污泥比较疏松, 易于剪切破碎, 相应的计算公式如下:

$$\text{FS} = 1 - \frac{D_i - D_a}{D_i} \quad (3)$$

式中, D_i 为剪切前的平均粒径 (mm), D_a 为剪切后的平均粒径 (mm).

1.4 污泥絮体形态学

将少量污泥絮体小心地转移到装有去离子水的托盘中, 使这些絮体充分分散, 不发生重叠. 然后依据污泥絮体的粒度大小, 分别使用爱国者数码观测王 (GE-5 型, 北京华旗资讯数码科技有限公司)、数码相机 (DSC-T9 型, Sony, 日本) 或者倒置显微镜 (MI/XDS-1B 型, 重光光学仪器厂) 拍摄分散在托盘中的污泥絮体形貌照片, 并进行尺寸标定.

采用 Image-Pro Plus 6.0 软件对上述的絮体照片进行处理和分析, 分别确定絮体颗粒的投影面积 (A)、周长 (P)、絮体长轴/外接圆直径 (L_a)、最大直径 (d_L) 和当量圆直径 (d_p) 等几何参数, 然后依据文献[21,22]的方法确定絮体的粒径分布, 并且根据式(4)计算絮体的一维分形维数 D_1 .

$$P \propto L_a^{D_1} \quad (4)$$

根据式(5)可以计算絮体的二维分形维数 D_2 .

$$A \propto P^{D_2} \quad (5)$$

2 结果与讨论

2.1 CPAM 投药量对活性污泥脱水性能的影响

图3和图4为CZ-8698投药量对活性污泥的CST、SRF和其离心上清液黏度的影响曲线. 如图3所示, 随着投药量的增加, 污泥CST和SRF值均呈现先降低后增大的变化趋势. CZ-8698作为一种阳离子高分子絮凝剂, 投加到带有负电荷的污泥生物颗粒的悬浊体系中, 其主要作用过程为吸附电中和以及黏附架桥. 当投药量低于最佳点之前, 絮凝剂与污泥颗粒发生较好的絮凝作用, 污泥中自由水因为生成尺寸较大的絮体而被释放, 因此随着投药量的增加, 这种效果越显著, 相应的CST和SRF值均呈现降低的趋势直至最佳投药点^[23]. 当投药量超过最佳点后, 水相中剩余絮凝剂含量的增加带来该体系黏度的增加, 另一方面絮凝剂的过量投加导致絮凝效果的变差, 体系中小絮体的数量增加, 污泥中自由水的释放效果也变差, 从而导致CST和SRF的增加^[17,23]. 以CST作为污泥脱水性能的指标时, 确定污泥絮凝调理的最佳投药量范围为 $1.43 \sim 7.13\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 当CZ-8698投加量为 $4.28\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, CST达到最小值 (12.62 ± 1.39) s; 而以SRF作为判断污泥脱水性能的指标时, 其最佳投药量范围为 $4.28 \sim 14.25\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 在CZ-8698投加量为 $7.13\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, SRF达到最小值 $0.56 \times 10^{12}\text{ m}\cdot\text{kg}^{-1}$. 可见, 以CST确

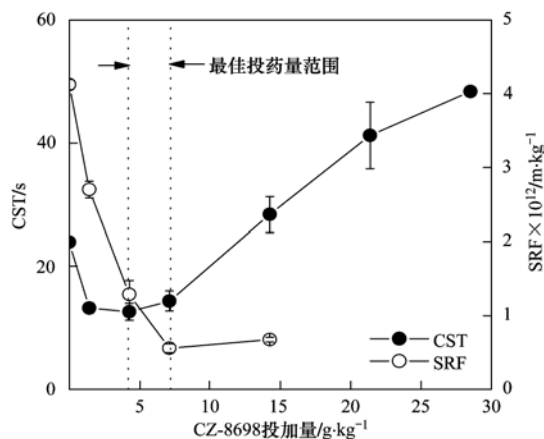


图3 活性污泥的脱水性能与投药量的关系

Fig. 3 Relationship between dewaterability of activated sludge and CZ-8698 dosages

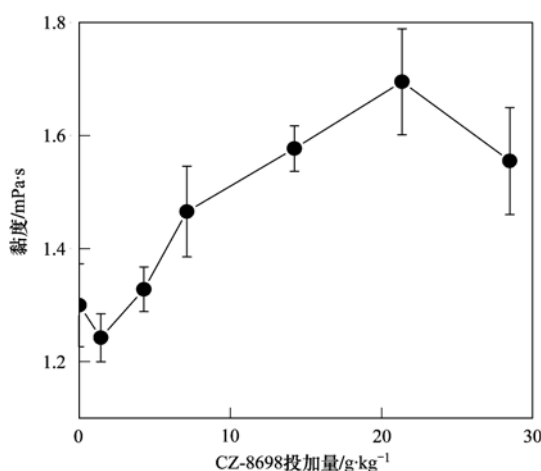


图4 投药量对污泥絮凝调理前后离心上清液黏度的影响

Fig. 4 Effect of CZ-8698 dosages on the viscosity of supernatant after activated sludge centrifugation

定的最佳投药量比 SRF 的小,这与文献[5,14]使用阳离子高分子聚合物调理活性污泥时所得的结果类似.然而,文献[12]中采用阳离子聚合物(KP-201C)调理给水厂污泥时却发现 CST 确定的最佳投药量比 SRF 的高,这种不同的结果可能是由于所研究的污泥种类的不同而导致的.

此外,文献[3,8]中报道了采用阳离子高分子聚合物调理模拟活性污泥的合成纤维悬浊液(synthetic cellulose suspension)和活性污泥的结果显示,依据调理后污泥的上清液黏度确定的最佳投药量与依据 CST 确定的结果是一致的;文献[5]使用粉煤灰对无机污泥调理时发现无机污泥的黏度与 CST、SRF 确定的最佳投药量相同.尽管上述研究者认为污泥黏度可以作为确定污泥最佳投药量的指标,但还是要考虑污泥和絮凝剂的种类等因素.由图

4 可见,随着投药量的增加,污泥离心上清液的黏度先减小后增大,在 CZ-8698 投加量为 $1.43 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时离心上清液黏度最小为 $(1.24 \pm 0.04) \text{ mPa} \cdot \text{s}$.可见,在低投加量下,絮凝剂的吸附电中和以及黏附架桥作用得以充分发挥,水中剩余的溶解性的絮凝剂和胶体粒子的浓度也逐渐降低,相应的离心上清液的黏度减小.当絮凝剂投加量达到一定程度($1.43 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)时,其在水相中的浓度也开始逐渐增加,从而提高了离心上清液中胶体的黏度.当絮凝剂投加量过大,絮凝剂效果的恶化也会增加离心上清液中胶体粒子的浓度,从而进一步提高离心上清液的黏度.对比不同指标确定的最佳投药量范围可以发现,由离心上清液黏度确定的最佳投药量最小,CST 次之,SRF 最大.

2.2 CPAM 投药量对活性污泥表面电性的影响

原始污泥 MLSS 为 $(7.02 \pm 0.005) \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,稀释到 50 倍后悬浊体系的 Zeta 电位为 $(-19.28 \pm 2.812) \text{ mV}$.图 5 为絮凝调理后污泥离心上清液胶体的表面电学指标随着絮凝剂投药量增加的变化曲线.如图 5 所示,投药量在 $14.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之前,污泥离心上清液中胶体的 Zeta 电位迅速上升,此后 Zeta 电位随着投药量的增加而缓慢变化,其趋势与文献[4,6,8,12~14,24]采用阳离子高分子聚合物调理活性污泥所得 Zeta 电位的变化趋势一致.Zeta 电位也可以被用于确定絮凝剂的最佳投药量,Zeta 电位在 $-5 \sim 0 \text{ mV}$ 范围内即可获得很好的絮凝效果^[25].此外,CZ-8698 是一种阳离子型有机高分子絮凝剂,在调理过程中,这种絮凝剂分子能够迅速吸附到污泥表面对其负电荷进行中和,降低胶体颗粒的表面电荷和静电斥力,从而导致这些污泥胶体颗粒 Zeta 电位的绝对值降低,并趋近 0 mV ;而且较长的絮凝剂高分子链能同时吸附较多的胶体粒子,产生吸附架桥作用;上述这些机制可以有效地破坏胶体稳定性,促进污泥胶体的絮凝.在 CST 和 SRF 分别确定的污泥最佳投药量($4.28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $7.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)下,对应的污泥絮体 Zeta 电位分别为 $(-5.35 \pm 0.81) \text{ mV}$ 、 $(1.11 \pm 1.11) \text{ mV}$.在该投药量范围内,絮体颗粒的 Zeta 电位发生变号,由负值变为正值,污泥的絮凝调理效果最好^[26~29].

原始污泥的表面电荷密度为 $(-1.05 \pm 0.343) \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$.由图 5 可见,CZ-8698 在很低的投药量就会使活性污泥的表面电荷密度变为正值,而当 CZ-8698 投药量为 $4.28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,却降低到 $(0.03 \pm 0.02) \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$;此后随着 CZ-8698 投药量的增加,

污泥离心上清液中胶体的表面电荷密度总体上呈现缓慢上升的趋势。

尽管图 5 中调理后活性污泥的离心上清液中胶体的 Zeta 电位和表面电荷密度变化趋势有一定的差异,但这很有可能是由于 2 种指标测试原理的不同导致的。此外,依据 Zeta 电位的变化规律可以初步确定絮凝剂的投药量为 $4.28 \sim 7.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,污泥颗粒的絮凝趋势最强,该投药量范围与 CST 和 SRF 确定的最佳投药量范围相同,可以说明 CST、SRF 和 Zeta 电位这 3 个指标在确定污泥絮凝调理的最佳投药量时具有一致性。

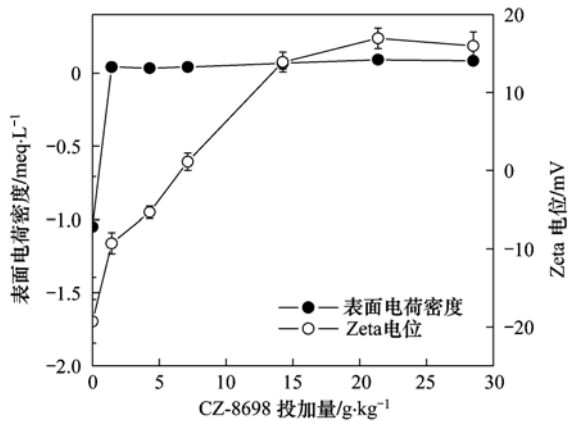


图 5 污泥表面电学指标随着投药量的变化曲线

Fig. 5 Change in zeta potential and surface charge density of supernatant after activated sludge centrifugation with CZ-8698 dosages

2.3 不同 CPAM 投药量下调理污泥絮体形态学变化

2.3.1 絮体的粒径分布

图 6 为原始污泥和 CPAM 调理后污泥絮体的典型照片。由图 6 可见,污泥均呈现浅黄色,具有不规则的外形和较为清晰的边界。这种不规则的形貌特征表明污泥絮体颗粒可能具有分形结构。原始污泥的粒径小,表面粗糙,呈现出很不规则的形状;经过 CZ-8698 絮凝调理后,污泥絮体的颗粒形状和粒径都发生了明显的改变,污泥絮凝后形成团状絮体的粒径也随着投药量的增加逐渐增大。

依据 1.4 节中的方法对原始污泥和调理后的污泥絮体的几何参数进行统计分析,确定这些生物颗粒的粒度分布和分形维数的变化趋势。图 7 为絮体颗粒的粒径随着投药量增加的变化曲线,可见,原始污泥的粒径主要分布在 $61.40 \sim 68.13 \mu\text{m}$ 范围内,随着投药量的增加,各 CZ-8698 投药量下絮体的粒径分布分别集中在 $812.52 \sim 894.02 \mu\text{m}$ 、 $4\,676.56 \sim 4\,828.98 \mu\text{m}$ 、 $3\,959.25 \sim 4\,170.13 \mu\text{m}$ 、 $4\,173.07 \sim 4\,394.47 \mu\text{m}$ 、 $5\,178.31 \sim 5\,525.57 \mu\text{m}$ 和

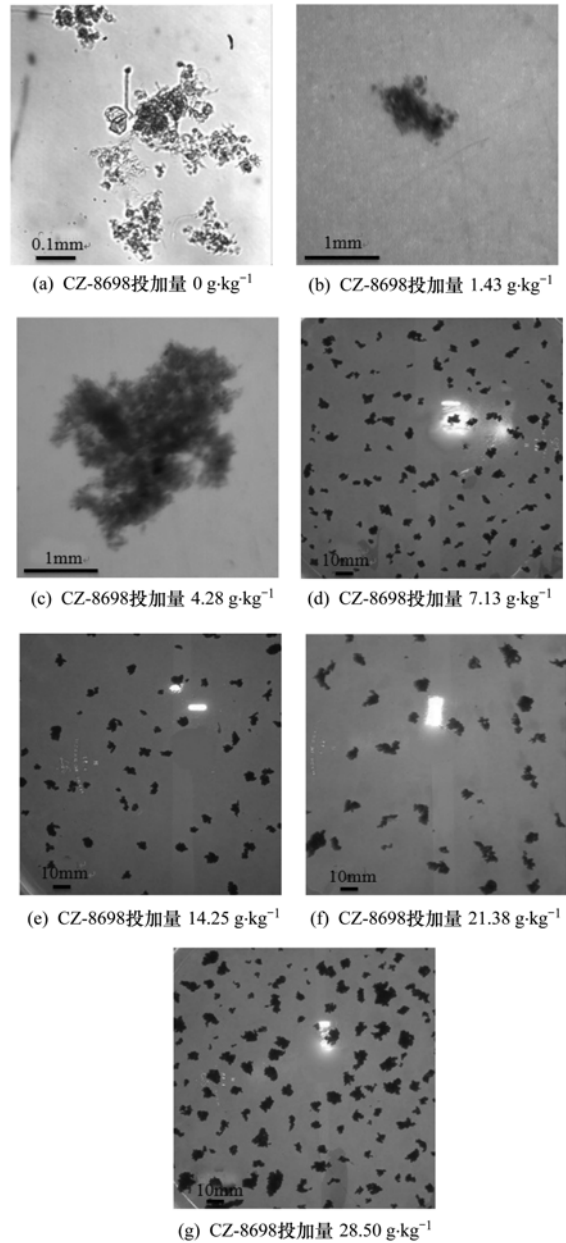


图 6 活性污泥调理前后生物颗粒的形貌照片

Fig. 6 Images of biosolids of activated sludge conditioned at different CZ-8698 dosages

$6\,003.43 \sim 6\,440.32 \mu\text{m}$, 相应的个数中位直径分别为 62.45 、 821.75 、 $1\,798.91$ 、 $4\,155.75$ 、 $4\,249.25$ 、 $5\,466.44$ 和 $6\,309.66 \mu\text{m}$ 。可见,随着投药量的增加,污泥絮体的粒径迅速增大。本研究结果与文献[4, 14, 23, 29]等对污水处理厂活性污泥和给水厂污泥絮凝调理后研究的结果相同,即随着投药量的增加,污泥的 CST 先降低再升高,但是絮体的粒径却是持续增大的。

2.3.2 不同投药量下絮体分形维数的变化

一维拓扑空间下污泥絮体的分形维数 (D_1) 可以表征絮体颗粒边界的不规则程度或表面的粗糙程

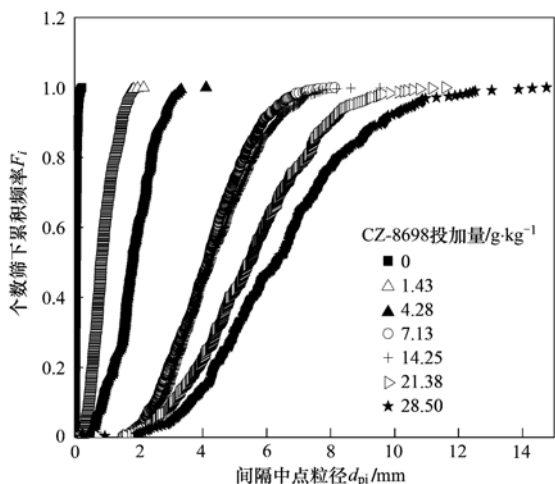


图7 不同投药量下污泥絮体的累积粒径分布

Fig. 7 Particle size distribution (PSD) of activated sludge flocs formed at different CZ-8698 dosages

度, D_1 越接近于 1, 说明絮体颗粒的边界不规则程度越小, 表面越光滑. 活性污泥絮体的 D_1 随着 CZ-8698 投药量的变化曲线如图 8. 可见, 原始污泥絮体的 D_1 最高, 其值为 1.46, 表明其边界极不规则, 这与图 6 中原始污泥的形貌照片的结果一致; 当 CZ-8698 投药量 $< 7.13 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 随着投药量的增加 D_1 迅速减小至最小值 (1.09), 此后, D_1 随着 CZ-8698 投药量的增加而略微增加.

二维拓扑空间下污泥絮体的分形维数 (D_2) 表征了絮体颗粒的密实程度, D_2 越小, 表明絮体颗粒的结构越疏松, 反之越密实. 如图 8 所示, 原始污泥的 D_2 值最小, 表明其结构最为疏松; 在 CZ-8698 投药量 $< 4.28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, D_2 随着投药量的增加迅速提高, 达到 1.51; 此后, D_2 随着投药量的增加缓慢地增加, 当投药量为 $28.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, D_2 增加到 1.61, 此时絮体颗粒最为密实.

分形维数作为描述絮体颗粒不规则特征的参数, 它与絮体的结构和理化性质有一定的关系^[30], 可以用来描述絮体的复杂结构. 投加絮凝剂后, 污泥絮体的密实程度明显提高. 本研究结果显示, 在最佳投药量范围内, 絮体的表面不规则程度最低、结构较为密实, 此时污泥的脱水效果最佳, 表明分形维数与污泥的脱水性能之间有一定的联系. 但是文献[9]的研究发现, 阳离子高分子絮凝剂调理给水厂污泥时, 质量分形维数^[31]指示的最佳投药量大于修正的污泥比阻所确定的最佳投药量, 从而提出污泥的质量分形维数不能作为指示最佳投药量的重要参数的结论. 这种差异可能是这些研究所使用的分形维数及其确定方法不同而导致的.

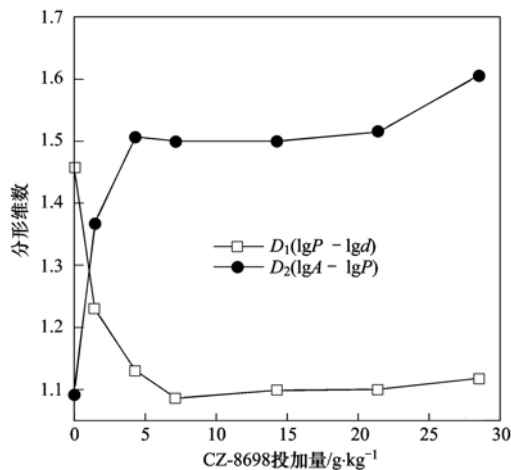


图8 不同投药量下污泥絮体分形维数的变化

Fig. 8 Change in fractal dimensions of activated sludge flocs with CZ-8698 dosages

2.3.3 CZ-8698 投加量对污泥稳定性的影响

活性污泥的 CST 与强度 (FS) 随着 CZ-8698 投药量的变化曲线如图 9. 可以看出, 随着投药量的增加, 污泥的 CST 变化趋势与 12 月 8 日采集的污泥类似, CZ-8698 的最佳投药量在 $4.60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右, CST 最小值为 $(10.87 \pm 0.46) \text{ s}$. 活性污泥的强度在低投药量范围内随着投药量的增大而迅速降低, 随后降低趋势缓慢并逐渐趋于稳定. 絮体强度不断地降低主要是由于随着 CZ-8698 的增加, 污泥絮体的粒径不断增大, 而大的污泥絮体更容易破碎^[32], 当絮体尺寸增加到一定程度后, 其对剪切响应的敏感程度很低, 即絮体的强度基本稳定.

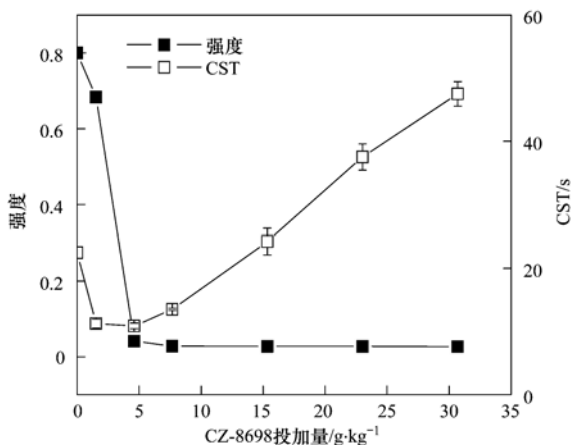


图9 不同投药量下活性污泥的脱水性与稳定性变化

Fig. 9 Change in both dewaterability and strength of activated sludge with CZ-8698 dosages

3 结论

(1) 依据离心上清液黏度确定的絮凝调理最佳投药量最小, CST 次之, SRF 最大, 相应的最佳投药

量依次为 1.43、4.28、7.13 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

(2) CST、SRF 和 Zeta 电位三者在指示污泥絮凝调理的最佳投药量时具有一致性。

(3) 在最佳投药量范围 4.28 ~ 7.13 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, 调理污泥絮体的表面不规则程度最低、结构较为密实, 相应的脱水效果最佳, 表明分形维数与污泥的脱水性能之间存在一定的联系。

(4) 随着 CZ-8698 投药量的增加, 活性污泥絮体的粒径持续增加, 而其强度却迅速下降并逐渐趋于稳定, 相应的临界投药量为 4.60 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] 张韵. 我国污泥处理处置的规划研究[J]. 给水排水动态, 2010, (4): 13-15.
- [2] 王岚. 我国污泥处理处置发展概述[J]. 给水排水动态, 2010, (4): 11-12.
- [3] Abu-Orf M M, Dentel S K. Rheology as tool for polymer dose assessment and control [J]. Journal of Environmental Engineering, 1999, **125**(12): 1133-1141.
- [4] Yen P S, Chen L C, Chien C Y, *et al.* Network strength and dewaterability of flocculated activated sludge [J]. Water Research, 2002, **36**(3): 539-550.
- [5] Hou C H, Li K C. Assessment of sludge dewaterability using rheological properties [J]. Journal of the Chinese Institute of Engineers, 2003, **26**(2): 221-226.
- [6] Wolny L, Wolski P, Zawieja I. Rheological parameters of dewatered sewage sludge after conditioning[J]. Desalination and the Environment, 2008, **222**(1-3): 382-387.
- [7] Dentel S K, Abu-Orf M M, Walker C A. Optimization of slurry flocculation and dewatering based on electrokinetic and rheological phenomena [J]. Chemical Engineering Journal, 2000, **80**(1-3): 65-72.
- [8] Ayol A, Dentel S K, Filibeli A. Dual polymer conditioning of water treatment residuals [J]. Journal of Environmental Engineering, 2005, **131**(8): 1132-1138.
- [9] Zhao Y Q. Correlations between floc physical properties and optimum polymer dosage in alum sludge conditioning and dewatering[J]. Chemical Engineering Journal, 2003, **92**(1-3): 227-235.
- [10] Zhao Y Q. Settling behaviour of polymer flocculated water-treatment sludge I: analyses of settling curves [J]. Separation and Purification Technology, 2004, **35**(1): 71-80.
- [11] Zhao Y Q. Settling behaviour of polymer flocculated water-treatment sludge II: effects of floc structure and floc packing [J]. Separation and Purification Technology, 2004, **35**(3): 175-183.
- [12] Lai J Y, Liu J C. Co-conditioning and dewatering of alum sludge and waste activated sludge[J]. Water Science and Technology, 2004, **50**(9): 41-48.
- [13] Wang J S, Liu J C, Lee D J. Dual Conditioning of sludge utilizing polyampholyte [J]. Journal of Environmental Engineering, 2005, **131**(12): 1659-1666.
- [14] Lee C H, Liu J C. Sludge dewaterability and floc structure in dual polymer conditioning [J]. Advances in Environmental Research, 2001, **5**(2): 129-136.
- [15] Wang Y L, Dentel S K. The effect of polymer doses and extended mixing intensity on the geometric and rheological characteristics of conditioned anaerobic digested sludge (ADS) [J]. Chemical Engineering Journal, 2011, **166**(3): 850-858.
- [16] Wang Y L, Dentel S K. The effect of high speed mixing and polymer dosing rates on the geometric and rheological characteristics of conditioned anaerobic digested sludge (ADS) [J]. Water Research, 2010, **44**(20): 6041-6052.
- [17] 常青, 傅金镒, 郇兆龙. 絮凝原理[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1993. 109-110.
- [18] Jin B, Wilén B M, Lant P. A comprehensive insight into floc characteristics and their impact on compressibility and settleability of activated sludge [J]. Chemical Engineering Journal, 2003, **95**(1-3): 221-234.
- [19] Wilén B M, Jin B, Lant P. The influence of key chemical constituents in activated sludge on surface and flocculating properties[J]. Water Research, 2003, **37**(9): 2127-2139.
- [20] Wilén B M, Jin B, Lant P. Impacts of structural characteristics on activated sludge floc stability[J]. Water Research, 2003, **37**(15): 3632-3645.
- [21] 金鹏康, 王晓昌. 腐殖酸絮凝体的形态学特征和混凝化学条件[J]. 环境科学学报, 2001, **21**(增刊): 23-29.
- [22] 王毅力, 卢佳, 杜白雨, 等. 聚合氯化铁-腐殖酸(PFC-HA)絮体的不同拓扑空间下分形维数的研究[J]. 环境科学学报, 2008, **28**(4): 606-615.
- [23] Langer S J, Klute R, Hahn H H. Mechanisms of floc formation in sludge conditioning with polymers [J]. Water Science and Technology, 1994, **30**(8): 129-138.
- [24] Chen B H, Lee S J, Lee D J. Rheological characteristics of the cationic polyelectrolyte flocculated wastewater sludge[J]. Water Research, 2005, **39**(18): 4429-4435.
- [25] 李敏, 宗栋良. 混凝中 Zeta 电位的影响因素[J]. 环境科技, 2010, **23**(3): 9-16.
- [26] 郑怀礼, 李林涛, 吴幼权, 等. CPAM 处理浓缩污泥脱水的影响因素研究[J]. 水处理信息报导, 2009, (5): 10-13.
- [27] 沈劲锋, 殷绚, 谷和平, 等. 超声与阳离子型聚丙烯酰胺联合作用对剩余活性污泥脱水的影响[J]. 化学工业与工程技术, 2005, **26**(6): 22-24.
- [28] 高健磊, 阎怡新, 吴建平, 等. 城市污水处理厂污泥脱水性能研究[J]. 环境科学与技术, 2008, **31**(2): 108-111.
- [29] Yen P S, Lee D J. Network strength of waste activated sludge using rheological tests [J]. Separation Science and Technology, 2003, **38**(2): 375-388.
- [30] 芦家娟, 王毅力, 侯立安, 等. ABR 成熟颗粒污泥的分形特征与尺度效应[J]. 环境科学, 2005, **26**(4): 118-123.
- [31] 宣科佳, 王毅力, 魏科技, 等. A²/O 工艺中好氧污泥絮体的分形结构与理化特征分析[J]. 环境科学, 2009, **30**(7): 2013-2021.
- [32] 李欣, 蔡伟民. 污泥调理剂与有机高分子絮凝剂联合作用对污泥脱水性能影响的研究[J]. 净水技术, 2009, **28**(3): 40-44.

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