

厌氧微生物降解苯酚过程中胞外蛋白及多糖变化分析

贾学斌¹, 魏金亮^{1,2}, 张军^{1,3}, 张多英^{1,3}, 程天竞⁴, 陶冉¹

(1. 黑龙江大学 建筑工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 黑龙江大学 水利电力学院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 3. 黑龙江省村镇饮用水安全工程技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150080; 4. 淮安市水利局, 江苏 淮安 223005)

摘要: 为研究厌氧微生物在降解有毒难降解类物质时,胞外多聚物(EPS)的成分变化情况,选取苯酚作为培养基质,按苯酚浓度由低到高(100、300和500 mg/L)分三个阶段驯化颗粒污泥。试验过程中,提取对照组(苯酚浓度为零)和三个阶段驯化的颗粒污泥的EPS,测定胞外蛋白质(PN)和胞外多糖(PS)的含量,并对PN和颗粒污泥分别进行三维荧光光谱和电镜扫描(SEM)分析。结果表明:EPS中PN含量变化明显,是抵御苯酚毒性的主要物质;PS含量变化不明显,基本维持在2.6~3.2 mg/gVSS之间,通过其中的负性官能团相互连接构成网状结构,起到维持颗粒污泥形态的作用。通过三维荧光光谱(EEM)分析,细胞分泌的酪氨酸类蛋白质和其他芳香族类蛋白质是厌氧微生物能够有效抵御苯酚毒性的主要原因,且其含量与苯酚浓度呈正相关。SEM照片显示,EPS对污泥结构有影响,PN/PS值增加促进污泥粒径变大,PN减少使污泥颗粒逐渐裂解。

关键词: 厌氧微生物; 颗粒污泥; 苯酚; 胞外多聚物; 胞外蛋白质; 胞外多糖
中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2018)13-0020-06

Changes of Extracellular Proteins and Polysaccharides in Phenol Degradation by Anaerobic Microorganism

JIA Xue-bin¹, WEI Jin-liang^{1,2}, ZHANG Jun^{1,3}, ZHANG Duo-ying^{1,3},
CHENG Tian-jing⁴, TAO Ran¹

(1. School of Civil Engineering, Heilongjiang University, Harbin 150080, China; 2. School of Hydraulic and Electric Power, Heilongjiang University, Harbin 150080, China; 3. Technical Research Center of Drinking Water Safety Engineering in Villages and Towns of Heilongjiang Province, Harbin 150080, China; 4. Huai'an Water Conservancy Bureau, Huai'an 223005, China)

Abstract: In order to study the change of extracellular polymeric substances (EPS) in the degradation of toxic refractory substances by anaerobic microorganisms, phenol was chosen as the culture medium and the granular sludge was domesticated in three stages according to phenol concentration from low to high (100 mg/L, 300 mg/L and 500 mg/L). The EPS of control group (phenol concentration was zero) and three stages of domesticated granular sludge was extracted, and the content of extracellular protein (PN) and polysaccharide (PS) were determined. Three dimensional molecular fluorescence technique

and scanning electron microscopy (SEM) were used to analyze PN and the internal structure of granular sludge respectively. The results showed that the content of PN in EPS changed obviously, which was the main substance to resist the toxicity of phenol. PS content was basically stable, maintaining between 2.6 - 3.2 mg/gVSS. The negative functional groups of PS were connected to each other to form a network structure, which could maintain the shape of granular sludge. Through excitation - emission - matrix (EEM) spectra analysis, the protein of tyrosine and other aromatic species secreted by cells could effectively resist the toxicity of phenol, and the content was positively correlated with the concentration of phenol. SEM pictures showed that EPS affected the sludge structure. The increase of PN/PS value promoted the particle size of sludge, and the decrease of PN caused the sludge particles to break down gradually.

Key words: anaerobic microorganism; granular sludge; phenol; extracellular polymeric substances; extracellular protein; extracellular polysaccharide

有毒难降解有机废水的处理已经成为世界公认性的难题,因其具有的毒性,使微生物受到很大程度的抑制。苯酚是一种原生质毒物,很难被降解,一旦苯酚废水流入自然水体中,不但对土壤和水体造成生态破坏,而且会严重危害人类的健康。有学者研究表明^[1],采用厌氧生物法处理苯酚废水较好氧生物处理工艺具有一定的优势,如能耗低、剩余污泥量少、容积负荷高等。国内外许多学者对厌氧生物法处理苯酚废水进行了研究^[2],如 Puyol 等^[3]在中温条件下利用 EGSB 反应器处理酚类废水,容积负荷高达 5.5 kgCOD/(m³·d);郁丹等^[4]利用驯化后的厌氧颗粒污泥处理浓度为 400 mg/L 的苯酚废水,当 HRT 为 3 d 时去除率达到了 91%。

胞外多聚物(EPS)作为微生物细胞在特定环境下分泌的高分子聚合物,对其适应不同环境起着重要作用,同时它也是维持污泥形态及性状的重要因素之一^[5,6]。EPS 的主要成分是胞外蛋白质(PN)和胞外多糖(PS),占据 EPS 总量的 90% 以上,其余为少量核酸和脂类等物质^[7]。笔者采用厌氧颗粒污泥降解不同浓度的苯酚,分析了 EPS 分泌量及其成分的变化,以及污泥内部结构的改变,以期研究厌氧微生物在毒性环境中如何保证生物活性,提高降解有毒物质的能力提供理论支持。同时,也为通过分析胞外蛋白及多糖分子质量分布变化来研究苯酚对颗粒污泥的影响机理打下基础。

1 试验条件及方法

1.1 试验装置及厌氧微生物

试验所用厌氧污泥取自北方某食品有限责任公司厌氧罐,呈颗粒态,饱满,粒径在 1.2 ~ 2.0 mm 之间,沉降性能良好,沉降速度在 48 ~ 100 m/h 之间,

VSS/TSS 为 0.822,接触苯酚前由葡萄糖营养废水培养。采用间歇培养方式,培养装置采用 500 mL 锥形瓶,放置于大型恒温摇床中振荡培养。模拟废水采用工业葡萄糖、尿素和磷酸二氢钾以 COD : N : P = 200 : 5 : 1 比例配制,并适当添加微量元素。苯酚(分析纯)废水按需求浓度配制,采用 NaHCO₃ 调节溶液 pH 值为 7 左右。

1.2 运行方法和控制条件

试验控制温度为 35 °C 左右,pH 值在 6.8 ~ 7.2 之间。将苯酚废水加入到污泥浓度为 6 gVSS/L 的培养瓶中,放置于摇床内开始振荡培养。按苯酚浓度为 100、300 和 500 mg/L 分三个阶段进行试验,第一阶段,配制浓度为 100 mg/L 左右的苯酚溶液进行微生物驯化培养,当连续几日内的去除率开始在一定范围内波动时,认为此阶段驯化结束,开始增加苯酚浓度进行第二和第三阶段的驯化培养。每 24 h 取样测定苯酚浓度,并取对照组(葡萄糖营养液培养,苯酚浓度为零)和苯酚浓度为 100、300 及 500 mg/L 时的污泥进行 EPS(PN 和 PS)测定和电镜扫描。

1.3 分析项目及方法

EPS 有多种提取方法^[8],为了尽可能不破坏细胞,最大限度地提取出胞外 EPS,本试验采用超声 - 水浴加热法。取 20 mL 泥水混合液于 50 mL 离心管中,3 000 r/min 离心 5 min,倒去上清液,添加 0.9% 的生理盐水重新悬浮到 20 mL,超声 5 min,然后 80 °C 水浴加热 30 min,于 5 500 r/min 下离心 30 min,取上清液测定蛋白质和多糖含量,剩余污泥采用重量法测定 VSS;PN 含量采用 Folin - 酚试剂盒测定;PS 含量采用苯酚 - 硫酸法测定^[9]。

其他项目分析:苯酚浓度采用4-氨基安替比林分光光度法测定;污泥粒径采用湿式筛分法测定^[10],利用不同孔径的不锈钢筛对颗粒污泥进行筛分,测定粒径大小;有机物鉴定采用F-7000荧光光谱仪;颗粒污泥结构采用扫描电镜观察。

2 结果与讨论

2.1 不同浓度下对苯酚的去除效果

微生物对第一阶段的苯酚适应时间较长,经过62 d的驯化培养后,对浓度为500 mg/L的苯酚废水可以稳定去除(见图1)。在稳定期内,3个不同浓度的日均去除率分别为92.7%、56.7%和30.4%,此时微生物对苯酚的降解能力分别约为15.45、28.35和25.33 mg/(gVSS·d),具有了较好的苯酚去除能力。

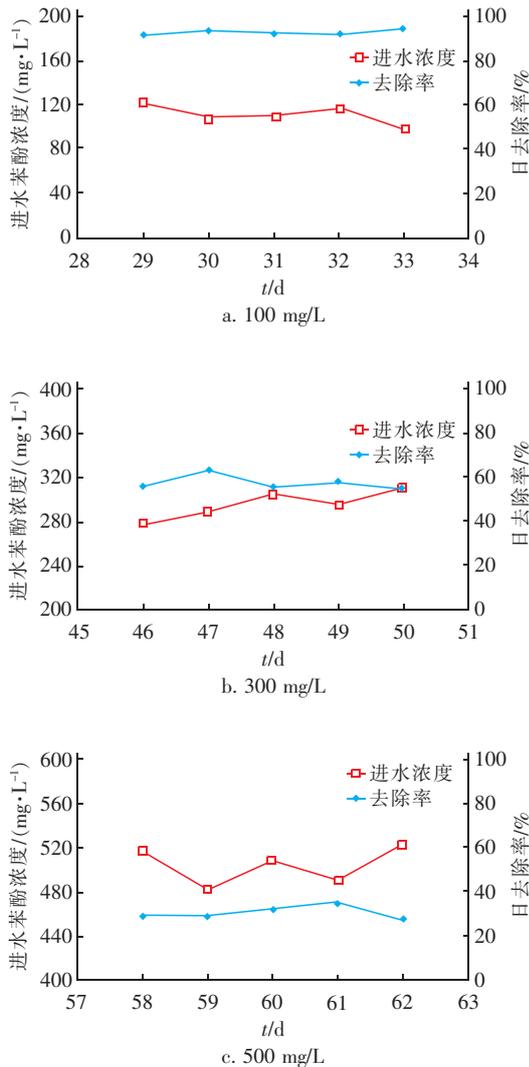


图1 对不同浓度苯酚的日去除效果

Fig.1 Daily removal rate of different concentrations of phenol

2.2 EPS中蛋白质和多糖含量的变化

2.2.1 PN含量的变化

取出对照组及不同苯酚浓度时的污泥,提取污泥中的EPS,对PS、PN、PN/PS等进行了测定和分析,结果如图2所示。

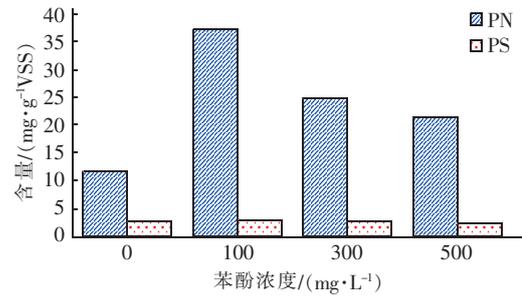


图2 不同苯酚浓度下EPS中PN和PS含量的变化

Fig.2 Changes of PN and PS contents in EPS at different concentrations of phenol

总体来看,蛋白质含量随苯酚浓度的变化比较显著,呈现先增高后逐渐降低趋势。苯酚浓度由零增长到100 mg/L时,细胞分泌的EPS中PN含量由11.72 mg/gVSS猛然增长到37.13 mg/gVSS,增加了2倍多,这与有关文献^[11]中苯酚浓度小于100 mg/L时,EPS的PN含量几乎没有变化有所不同。蛋白质猛增的原因是:苯酚刺激厌氧污泥中微生物分泌更多的蛋白质来抵御外界的毒性刺激。当微生物生存的环境体系由葡萄糖突然变为苯酚时,微生物为保证生存,开始分泌大量蛋白质并包裹在细胞周围,PN具有疏水性^[12],含量越多则污泥内部疏水性越强,阻止了大量苯酚侵入到细胞周围,从而抵御了苯酚的毒性刺激,保护细胞正常生长,并且经过一段时间的培养后,微生物已经适应并且能够有效降解浓度为100 mg/L的苯酚废水。而当苯酚浓度为300和500 mg/L时,PN含量逐渐降低为25.14和21.42 mg/gVSS,是因为随着苯酚浓度的增大,有不少微生物因无法适应而逐渐死亡,培养过程中也发现了有部分污泥解体,微生物的死亡使分泌的PN含量逐步降低,剩下的微生物则能够适应苯酚环境,可以达到降解苯酚的效果。另一方面,苯酚浓度升高,毒性变大,可能使得部分蛋白质变质^[13],导致测得的PN含量偏低。

2.2.2 PS含量及PN/PS值变化

研究发现,PS含量变化并不明显,基本在2.6~3.2 mg/gVSS之间。因为PS作为细胞分泌物,在污

泥内部主要起到“骨架”的作用^[14],PS 中的羧基或羟基等官能基团相互作用,构成交叉网状结构,从而维持污泥的颗粒状态,PS 含量基本不变就说明了其受苯酚毒性影响不大,起抵御苯酚毒性的物质主要是 PN。就 PN/PS 值而言,先由对照组的 4.35 升高到 11.56,再依次降为 9.36 和 8.18。研究表明^[15],PN/PS 值可以作为污泥颗粒化程度的指标,其越大则颗粒化程度越好,污泥的疏水性越强。对比无苯酚时期的颗粒污泥来说,采用苯酚培养时的 PN/PS 值明显提高,同时污泥的粒径明显变大,这缓和了苯酚对微生物的冲击,有效抵御了苯酚的毒性,从而达到降解苯酚的效果。所以,微生物受到苯酚毒性作用后,起抵御苯酚毒性作用的是 PN,PS 受到的影响不明显,PN/PS 值提升可以增大污泥粒径,缓和苯酚对微生物的毒性作用。

2.3 EPS 中蛋白质的三维荧光分析

为了进一步研究在苯酚毒性作用下细胞分泌有机物的情况,判断 EPS 中有哪些具体物质,利用 EEM 技术对 PN 进行三维荧光分析。当苯酚浓度分别为 100、300 和 500 mg/L 时,EPS 中有机物的三维荧光光谱中都含有两个明显的区域,即荧光峰 A 和 B,并且它们所在区域大致相同。其中,峰 A 的吸收/发射波长(Ex/Em)为 270/300 nm,峰 B 的为 210~215/292~310 nm。通过分析,认为这两个波峰均代表芳香族类蛋白质,其中峰 A 确定为酪氨酸类蛋白质,峰 B 为其他芳香族类蛋白质^[16]。进一步的分析显示,峰 A、B 的强度均随着苯酚浓度的升高而增大,同时,两者的比值也稍有增加(见表 1)。

表 1 不同苯酚浓度下 EPS 中有机物三维荧光数据

Tab. 1 Fluorescence spectral parameters of organics of EPS at different concentrations of phenol

浓度/ (mg · L ⁻¹)	峰 A		峰 B		B/A
	区域/nm	强度	区域/nm	强度	
100	270/300	309.8	210/310	327.3	1.06
300	270/300	810.6	215/300	886.5	1.09
500	270/300	1468.5	215/292	1 684.9	1.15

相关分析显示峰 A、峰 B 的强度值及峰 B 与峰 A 强度的比值几乎都随苯酚浓度呈线性增长,相关系数 R^2 分别达到 0.994、0.990 和 0.991。线性拟合度较高说明芳香族类蛋白质分泌物含量与苯酚废水浓度有直接关系,苯酚浓度越大,含酪氨酸等的芳香族类蛋白质分泌越多。尽管 EPS 中蛋白质总量随

苯酚浓度增大呈现下降趋势,但芳香族类蛋白质含量却是上升的,这进一步说明,微生物分泌的酪氨酸类蛋白质和其他芳香族类蛋白质能够抵抗苯酚毒性,保护自身生长繁殖,从而保证了厌氧微生物能够在毒性环境中有效去除苯酚。

2.4 颗粒污泥结构变化

取对照组和苯酚浓度为 100、300 及 500 mg/L 时的颗粒污泥进行电镜扫描,结果见图 3。

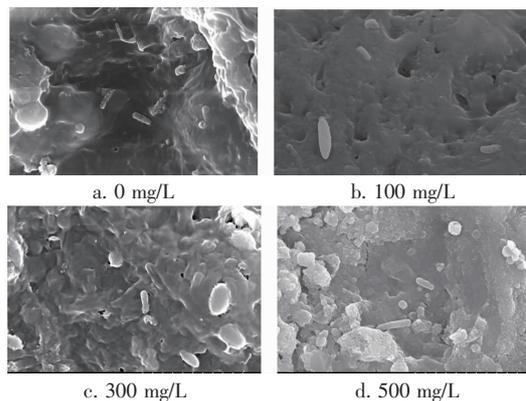


图 3 不同苯酚浓度下颗粒污泥的电镜扫描照片

Fig. 3 SEM pictures of granular sludge at different concentrations of phenol

从 SEM 照片可以明显观察到颗粒污泥内部结构的变化情况。由葡萄糖培养的颗粒污泥内部结构紧密细致,表面光滑平整,其平均粒径在 1.6 mm 左右;随着苯酚浓度的增加,颗粒污泥内部孔隙变大,结构不再紧密,因为在苯酚毒性作用下,部分微生物死亡后脱离了污泥组织;当苯酚浓度达到 500 mg/L 时,颗粒污泥已有裂解的现象,同时测得平均粒径达到了 2.5 mm,比对照组增加了 0.9 mm。结合 2.2.2 节的分析结果,也说明了微生物分泌的 EPS 对污泥颗粒化具有促进作用^[17],PN/PS 值增加,污泥颗粒化程度提高,粒径也就越大。本试验中,PS 作为颗粒污泥的“骨架”,含量基本不变,PN 含量的增多,导致污泥体积的变大。苯酚浓度越高,苯酚的毒性越大,这使得部分多肽类物质变性失活,失去活性的蛋白质和死亡的微生物随着摇床的不断振荡而被冲刷走,导致 PN 含量在后期逐渐减少,同时这也解释了为什么会在苯酚浓度为 500 mg/L 的培养瓶中观察到较多裂解的污泥碎片和白色分泌物。同时,PN 具有一定的凝胶特性^[18]和疏水性,后期 PN 含量的减少,使得由 EPS 组成的网状结构遭到破坏,颗粒污泥逐渐裂解。

综上所述, EPS 的变化对污泥颗粒化程度有影响, PN/PS 值越大, 颗粒化程度越高, 颗粒越坚固; 苯酚的毒性越大, 造成微生物和 PN 含量减少, 颗粒则越松散。

3 结论

① 厌氧颗粒污泥受苯酚毒性刺激, 主要分泌大量 PN 来抵抗苯酚毒性。苯酚浓度为 100 mg/L 时, PN 值增加 2 倍多; 随苯酚浓度由 100 mg/L 增加至 500 mg/L 时, 毒性作用变大, 部分微生物死亡以及 PN 失活变性, 导致 EPS 中的 PN 含量由 37.13 mg/gVSS 减少到 21.42 mg/gVSS。PS 则主要起维持颗粒污泥形态的作用, 基本不受苯酚浓度变化的影响, 其含量维持在 2.6 ~ 3.2 mg/gVSS 之间。

② 在苯酚毒性作用下, 厌氧微生物主要通过分泌酪氨酸类蛋白质和其他芳香族类蛋白质来抵御苯酚毒性, 保证微生物有效降解苯酚, 其含量与苯酚浓度呈正相关, 苯酚浓度越高, 则细胞分泌的芳香族类蛋白质越多。

③ EPS 对污泥结构起到重要作用, PN/PS 值可以作为污泥颗粒化程度的指标, 其值由 4.35 上升到 11.56 再到最后的 8.18, 提高了 2 ~ 3 倍, 使得粒径变大, 缓和了苯酚对微生物的毒性刺激; 随苯酚浓度增加, PN 含量逐渐减少, 颗粒污泥网状结构遭到破坏, 颗粒逐渐裂解。

参考文献:

- [1] Veeresh G S, Kumar P, Mehrotra I. Treatment of phenol and cresols in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) process; a review [J]. *Water Res*, 2005, 39(1): 154 - 170.
- [2] 李江, 白涛, 饶军, 等. 苯酚高效降解菌的筛选和降解特性研究 [J]. *微生物学报*, 2007, 34(3): 492 - 495.
Li Jiang, Bai Tao, Rao Jun, *et al.* Isolation and degrading characteristics of a phenol-degrading bacterial strain with high efficiency [J]. *Microbiology China*, 2007, 34(3): 492 - 495 (in Chinese).
- [3] Puyol D, Monsalvo V M, Mohedano A F, *et al.* Cosmetic wastewater treatment by upflow anaerobic sludge blanket reactor [J]. *J Hazard Mater*, 2011, 185: 1059 - 1065.
- [4] 郁丹, 阮文权, 邹华, 等. 厌氧生物法处理苯酚废水 [J]. *食品与生物技术学报*, 2007, 26(5): 84 - 87.
Yu Dan, Ruan Wenquan, Zou Hua, *et al.* Study on phenol wastewater in anaerobic system [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2007, 26(5): 84 - 87 (in Chinese).
- [5] McSwain B S, Irvine R L, Hausner M, *et al.* Composition and distribution of extracellular polymeric substances in aerobic flocs and granular sludge [J]. *Appl Environ Microbiol*, 2005, 71(2): 1051 - 1057.
- [6] 李硕, 彭永臻, 王然登. 胞外聚合物在污水生物处理中的作用 [J]. *黑龙江大学自然科学学报*, 2016, 33(4): 515 - 520.
Li Shuo, Peng Yongzhen, Wang Randeng. The role of extracellular polymers substance in biological treatment of wastewater [J]. *Journal of Natural Science of Heilongjiang University*, 2016, 33(4): 515 - 520 (in Chinese).
- [7] 李冬, 田海成, 梁瑜海, 等. 水质条件对厌氧氨氧化颗粒污泥 EPS 含量的影响 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2017, 49(2): 6 - 12.
Li Dong, Tian Haicheng, Liang Yuhai, *et al.* Effect of water quality of influent on the content of extracellular polymeric substances in anammox granule sludge [J]. *Journal of Harbin Institute of Technology*, 2017, 49(2): 6 - 12 (in Chinese).
- [8] 王淑莹, 何岳兰, 李夕耀, 等. 不同活性污泥胞外聚合物提取方法优化 [J]. *北京工业大学学报*, 2016, 42(4): 569 - 576.
Wang Shuying, He Yuelan, Li Xiyao, *et al.* Optimization of extracellular polymeric substance extraction method of different sludge [J]. *Journal of Beijing University of Technology*, 2016, 42(4): 569 - 576 (in Chinese).
- [9] 徐晓飞, 陈健. 多糖质量分数测定的研究进展 [J]. *食品科学*, 2009, 30(21): 443 - 448.
Xu Xiaofei, Chen Jian. Research progress in methods for quantitative determination of polysaccharides [J]. *Food Science*, 2009, 30(21): 443 - 448 (in Chinese).
- [10] 虞嘉东, 张振家, 王欣泽. 厌氧颗粒污泥粒径分布的分析测试方法简介 [J]. *工业用水与废水*, 2004, 35(1): 57 - 59.
Yu Jiadong, Zhang Zhenjia, Wang Xinze. A brief introduction to the analytical test method for the size distribution of anaerobic granular sludge [J]. *Industrial Water & Wastewater*, 2004, 35(1): 57 - 59 (in Chinese).
- [11] 马小云, 万金泉. 苯酚对厌氧颗粒污泥的毒性研究 [J]. *环境科学*, 2011, 32(5): 1402 - 1406.
Ma Xiaoyun, Wan Jinquan. Study on toxicity of phenol to anaerobic granular sludge [J]. *Environmental Science*, 2011, 32(5): 1402 - 1406 (in Chinese).

- [12] Wang W Y, Liu W Y, Wang L Y, *et al.* Characteristics and distribution research on extracellular polymer substance extracted from sewage sludge[J]. *Journal of Environmental Biology*, 2016, 37(2): 305-312.
- [13] 贾学斌,孙云龙,魏金亮,等. 厌氧微生物耐受苯酚毒性及降解机理研究[J]. *哈尔滨商业大学学报:自然科学版*, 2016, 32(5): 549-553, 562.
Jia Xuebin, Sun Yunlong, Wei Jinliang, *et al.* Anaerobic microorganisms tolerate toxic and mechanism of anaerobic degradation of phenol[J]. *Journal of Harbin University of Commerce: Natural Sciences Edition*, 2016, 32(5): 549-553, 562 (in Chinese).
- [14] Tay J H, Liu Q S, Liu Y. The role of cellular polysaccharides in the formation and stability of aerobic granules[J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2001, 33(3): 222-226.
- [15] Wang Z P, Liu L L, Yao H, *et al.* Effects of extracellular polymeric substances on aerobic granulation in sequencing batch reactors [J]. *Chemosphere*, 2006, 63(10): 1728-1735.
- [16] Chen W, Westerhoff P, Leenheer J A, *et al.* Fluorescence excitation-emission matrix regional integration to quantify spectra for dissolved organic matter[J]. *Environ Sci Technol*, 2003, 37(24): 5701-5710.
- [17] Ni Bingjie, Yu Hanqing. Microbial products of activated sludge in biological wastewater treatment system: A critical review[J]. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2011, 42(2): 187-223.
- [18] Seviour T, Pijuan M, Nicholson T, *et al.* Understanding the properties of aerobic sludge granules as hydrogels [J]. *Biotechnol Bioeng*, 2009, 102(5): 1483-1493.



作者简介:贾学斌(1971-), 男, 山东阳谷人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为污水处理。

E-mail: jxb511@163.com

收稿日期: 2018-03-08

· 企业动态 ·

苏伊士新创建赢得常熟4座污水处理厂特许经营权

苏伊士新创建在继为常熟的4座污水处理厂以O&M模式提供运营和管理后,又赢得其特许经营权,不断拓展在常熟的业务。凭借其在O&M服务期间出色的运营绩效和社会效益,苏伊士新创建通过旗下合作公司常熟中法水务,与常熟市水利局签订了为期30年的特许经营协议,拥有该4座污水处理厂及其运营权,进一步推动政府实现常熟市供排水一体化的目标。

根据协议,常熟中法水务将负责管理这4座污水处理厂,并将其处理能力由目前的 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 扩至 $18 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,为常熟市10个镇区约90万居民和工商客户提供服务。在接管这4座污水处理厂的资产和设施后,常熟中法水务将对其收集的市政及工业污水进行严格处理以确保符合现行标准,未来也将根据需要对污水处理厂进行提标改造和扩建以符合更高的标准。

常熟市政府常务副市长沈晓东表示:“常熟与苏伊士新创建12年的合作实现了常熟供排水事业的跨越式发展,也开创了中外合作双赢的成功典范,奠定了我们在合作领域、规模上不断寻求突破与创新的信心。我们希望这次合作能进一步推动常熟实现供排水一体化的进程。”

苏伊士亚洲区首席执行官郭任达表示:“我们与常熟市政府的合作能让当地市民生活质量得到提升,更好地应对环境领域的挑战,让我们倍受鼓舞。更重要的是,凭借我们稳固的合作基础和推动可持续发展的一致理念,我深信双方不仅能实现常熟供排水一体化的目标,同时也期待不久的将来我们在固废处理和资源回收领域开启更广阔的合作。”

(苏伊士新创建 供稿)