



全国中文核心期刊
中国科技核心期刊

环境工程学报

Chinese Journal of Environmental Engineering



第9卷 第1期

Vol.9 No.1

中国科学院
生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

1
2015

目 次

水 污 染 防 治

城市污水处理过程中溶解性有机物转化特性	金鹏康 石彦丽 任武昂(1)
过硫酸盐缓释材料释过程模型构建 陈方义 安 达 杨 昱 廉新颖 李定龙 姜永海 席北斗 张进保 吴 俊(7)
Fenton 氧化/混凝沉淀协同处理腈纶聚合废水	魏 健 范冬琪 宋永会 田智勇 徐东耀 那明亮(14)
膜生物反应器工艺联合曝气系统的可行性研究及工程实践	祁 萌 文湘华 李波桃 唐骋彪(19)
铁负载阴离子交换树脂高效除磷研究	张 红 缪恒锋 阮文权 左剑恶 操家顺(25)
建筑垃圾对雨水径流中 Cu 的吸附特性	王建龙 杨丽琼 黄涛 郭娉婷 魏子沫(32)
藻类生物膜脱氮除磷动力学研究	郭莉娜 魏 群 周 军 孙红云 李晓伟 陈延飞(39)
改性活性炭对废水中铬离子的吸附	左卫元 全海娟 史兵方(45)
SBAR 内不同有机负荷下 2 种好氧颗粒污泥形成及除磷性能	郎龙麒 万俊锋 王 杰 程 盼 王 岩(51)
污泥活性炭的制备及其对酸性红 G 的吸附行为	王家宏 张 迪 尹小龙 刘少冲(58)
伏牛溪水污染治理效果的数值模拟研究	卿晓霞 张会波 周 健 刘增威(65)
γ -射线辐照降解水中阿莫西林	谢水波 蔡 婷 罗志平 吴宇琦 刘迎九 凌 辉(73)
低温结晶净化柠檬酸解吸贫液中硫酸根	洪 涛 许鹏飞 李林波 高建雄 孔海林 高 萌(79)
壳聚糖络合-陶瓷膜耦合技术处理低浓度含铜废水	张晨牧 刘景洋 孙晓明 徐同宽 白卫南(83)
pH 对磷酸铵镁结晶介稳区、诱导期和反应速率的影响	刘 志 邱立平 王嘉斌 谢 康 王 东 孙成江(89)
正渗透中驱动溶质反渗模型的建立与实验验证 吴 晴 田 禹(95)
水解酸化工艺处理印染废水的机理	宋梦琪 周春江 马鲁铭(102)
沸石对降雨径流中氨氮的吸附特性	古 励 潘龙辉 何 强 廖欣蕾(107)
玉米秸秆碳源释放特征及反硝化效果	李乐乐 张卫民 何江涛 马文洁 刘菲(113)
水分散型阳离子聚丙烯酰胺絮凝剂的絮凝性能及其机理	刘 娟 武耀锋 张晓曦(119)
宜兴城市内河污染物时空分布及解析	郝 昊 王晓昌 张琼华 程 喆(125)
厌氧时聚- β -羟基丁酸酯(PHB)最大化积累的影响因子	易 丹 方 茜 张可方 李 典(131)
滇池凤眼莲种养水域水体理化指标 24 小时变化规律 张迎颖 张志勇 刘海琴 韩亚平 何 峰 王 智 王亚雷 严少华(137)
模拟含铀废液的除铀方法与效果	崔春龙 李 强 王晓丽 吴 涛 张 东 易发成 张 玲(145)
光/电法氨氮降解过程中协同作用的研究	邱勇萍 张国庆 杨晓青 区文仕 钟美玲(150)
法库沸石对氨氮的吸附特性和阳离子交互过程	李圣品 刘 菲 陈鸿汉 李梦姝(157)
复合塔式生态滤池中氮素迁移转化	杨 沫 单 颖 方 晨 郑 正 杨晓英 罗兴章(164)
重金属 Cr(VI) 和 Ni 对旱伞草富集能力及其生理生化指标的影响	周 武 袁志辉 刘敏超(171)
纳米复合脱氮剂/气动超声吹脱高浓度氨氮废水	冯俊生 许晓峰 赵丽华(177)
影响旁路净化含油循环水达标时间的主要因素	姚晓红 徐 俊 刘玉东 魏无际 张 超 徐 伟(183)
生物活性炭法深度处理印染废水及其生物毒性的表征	范晓丹 李皓璇 姬海燕 张襄楷 徐廷献(188)
焦化废水预处理系统中高效好氧污泥的培养驯化	周丽辉 韩 颖 张怀玉 胡 臻 侍 亮 张 焦(195)
好氧硝化颗粒污泥的培养及其性能	宋志伟 宁婷婷 王秋旭(200)
曝气频率对生物反应器渗滤液与填埋气的影响	田 颖 王 坤 徐期勇(207)
负载型颗粒活性炭催化过硫酸钠氧化降解橙黄 G 王晨曦 王金泉 马邕文 王 艳(213)
垃圾焚烧发电厂渗滤液生化出水的催化臭氧氧化处理	晏云鹏 全学军 程治良 徐 飞 邱发成(219)
应用 A/O MBBR-MBR 对 PU 合成革生化出水中硝酸盐氮的去除效果 王 庆 丁原红 任洪强 曾 超 刘敏敏 许 鹏 钱 佳 方富强(225)
LVJ 纳滤膜对磺胺二甲基嘧啶截留性能 肖谷清 周贤勇 文瑞明 尹志芳(230)
基于臭氧紫外协同在线检测水体 COD 的研究 张 龙 薛佩姣 杨慧中(235)
不同制备条件对 TiO ₂ 薄膜形貌结构、晶体结构及光电催化性能的影响 母康生 李金星 钟建丹 沈 飞 杨 刚 邓仕槐 张小洪 张延宗(240)
一株施氏假单胞菌 <i>Pseudomonas stutzeri</i> DN-LWX19 的脱氮性能	周晓黎 孙迎雪 沈丹丹 杨 哲 田 媛(247)
污泥干化冷凝水水质特征分析	李安峰 骆坚平 黄 丹 马健驹 汤冀强(253)
3 种基质对污水中总磷的吸附性能	武轩韵 栾亚宁 龚小强 李文玉 姜美玲 付 颖 孙向阳(257)
采气废水中有机物去除方法	张 锋 陈小红 张继红 卞卫国 莫宏玉 张迎华 王建刚(264)

大气污染防治

原煤暗道通风除尘特征参数的数值模拟及优化	陈曦	葛少成	张忠温	葛斐	荆德吉(269)				
几种室内植物去除低分子羰基化合物	蔡竞	李剑	支国瑞	颜流水	李平	付军力	李玲娜(275)		
电弧放电产生 NO _x 及其对亚硫酸铵的氧化				王飞飞	李树然	闫克平(281)			
扩散荷电作用下线板式 ESP 中 PM _{2.5} 捕集效率的数值模拟	张建平	邹炯磊	潘卫国	任建兴	徐达成(288)				
高效钙钛矿型 H ₂ -SCR 催化剂的制备与研究	沈玉然	乔凯	曹礼梅	杨骥(295)					
小型环境实验舱用于评价空气净化材料净化效果	王欣欣	杨华	卞学奎	刘艳菊(301)					
300 MW 燃煤机组烟气控制装置对气态汞去除效果	井鹏	王凡	朱金伟	曹晴	王相风	李映日	谭玉铃	邓双	张凡(307)
双燃料发动机瞬态工况 HC 排放特征	邱飞	张朝能	黄顶强	杜文静	王梦华	胡振丹(312)			
喷淋塔传质特性的实验与模型研究	祝杰	吴振元	叶世超	白洁	杨云峰(317)				
常州市春季大气 PM _{2.5} 中金属元素的分析及污染特征	王强	戴玄吏	巢文军	尚通明(323)					
京津冀地区环境空气 PM _{2.5} 自动监测现场比对研究	滕曼	姚雅伟	付强(331)						

固体废物处置

污泥预处理强化厌氧水解与产甲烷实验研究	郝晓地	刘斌	曹兴坤	胡沅胜(335)					
嗜油菌 NY3 对蜡质油污泥无害化处理	侯宝卫	聂麦茜	聂红云	王小豆	郭育涛	蒋欣(341)			
生活垃圾催化热解液体产物特性	贾晋炜	刘璐	杨凤生	惠贺龙	付兴民	韦云钊	李俊卫	付晓恒	舒新前(348)
固相餐厨垃圾厌氧发酵特性	余益辉	黄振兴	高树梅	赵明星	缪恒锋	任洪艳	阮文权(355)		
厨余发酵液与乙酸钠、葡萄糖脱氮性能的比较	程喆	王晓昌	张永梅	李玉友	乔宁(362)				
不同方法处理飞灰对亚甲基蓝的吸附性能	黎强	周少奇	李夫振	杨胤(367)					
基质施入污泥对马尼拉草和波斯菊生长的影响	王淑影	林逢凯	王寒可	杨涛	陈秀荣	杨磊	余洪侠(374)		
复合改性膨润土固定尾矿中 Zn 的研究	谈宇	付旺	廖妤婕	应成璋	韦月越	龙海洋	王维生(381)		
猪粪干发酵物料流动性指标研究	刘刚金	邓良伟	王智勇	陈子爱	刘刈	蒲小东	宋立(387)		
成都市区、城郊和农村生活垃圾重金属污染特性及来源	银燕春	王莉淋	肖鸿	李远伟	彭宏	漆辉	邓仕槐(392)		
城市生活垃圾机械生物处理效果	屈阳	张进锋	朱卫兵	潘天高	王庆国	金慧宁(401)			
竹叶与餐厨垃圾厌氧共消化工艺	卢艳阳	张又弛	唐晓达	罗文邃(407)					
微波辐射对生物质热解过程的影响	李柄缘	雍开祥	董优雅	韩晓佳	朱红(413)				
控制酸性矿山废水的污泥屏障压缩特性	孙逊	张虎元	杨博	张学超	王彦蓉(419)				
污泥与餐厨垃圾联合厌氧发酵产气余物产甲烷过程底物指标变化	郑育毅	林鸿	罗鸿信	余育方	刘常青(425)				
剩余污泥热水解厌氧消化中试研究	粮时光	张健	王双飞	郑欢	何奕明	周永信(431)			
4 段式平板膜处理污泥的中试研究	朱学峰	周明远	王志伟	苑文仪	关杰(436)				
阳离子聚丙烯酰胺对污泥脱水性能的影响	王寒可	林逢凯	王淑影	杨磊	陈秀荣	吴斌(441)			
焚烧发电厂垃圾渗滤液与秸秆的中温厌氧消化	耿晓丽	张文阳	赖夏颀	蒋琼华(448)					
卧螺离心机在城市湖泊污泥脱水中的应用	江君	徐高宗(453)							
基于人工神经网络的半连续式混合厌氧消化产气量预测	赖夏颀	张文阳	张良均	陈俊德(459)					

工程实例

上西关涌流域调蓄工程控制溢流污染研究	李捷	隋军	冯云刚(464)
--------------------	----	----	----------

土壤污染防治

氯化铁和硫酸铁对酸性土壤中有效态镉和铅污染的修复作用	卢明	屠乃美	胡华勇(469)
----------------------------	----	-----	----------

监测与评价

铅锌冶炼厂周边重金属的空间分布及生态风险评价	刘勇	王成军	刘华	马红周	张琼华	冯涛	孙大林(477)
酵母提取物对大型蚤急性毒性实验的影响	许静	王晓昌	马晓妍(485)				

环境生物技术

盐分对一株硫氧化细菌氧化能力的影响	顾运	杨宏	吴宣	尚海源(491)
-------------------	----	----	----	----------

生态工程

基于客土灌木化技术的弃渣场生态治理	张家铭	解艺丽	左鸿鹏	李焕焕(495)
-------------------	-----	-----	-----	----------

污泥干化冷凝水水质特征分析

李安峰^{1,2} 骆坚平^{1,2} 黄丹^{1,2} 马健驹^{1,2} 汤冀强³

(1. 北京市环境保护科学研究院, 北京 100037; 2. 国家城市环境污染控制工程技术研究中心, 北京 100037;
3. 北京水泥厂有限责任公司, 北京 102200)

摘要 随着我国污泥产量的急剧增加, 污泥干化冷凝水的产量也在快速增加。由于污泥干化冷凝水其独特的水质特征, 专门针对此类冷凝水的生物处理技术目前还非常不成熟。本研究以污泥导热干化冷凝水为研究对象, 分析了其主要的特征, 并结合实际运行结果, 对污泥干化冷凝水的生物处理给出建议。分析结果显示, 污泥干化冷凝水 pH 为 5.3 左右, 氨氮、挥发性脂肪酸(VFA)、COD 浓度分别为 $(1\ 130 \pm 320)$ mg/L、 $(6\ 840 \pm 1\ 150)$ mg/L、 $(13\ 810 \pm 3\ 280)$ mg/L, 属于高浓度有机废水。同时, 冷凝水中宏量元素和微量元素非常缺乏, 会严重影响活性污泥的正常代谢以及沉降性能, 通过补加缺乏元素或配比适量生活污水, 活性污泥性能可得到明显改善。

关键词 污泥干化 冷凝水 水质特征 营养元素

中图分类号 X502 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2015)01-0253-04

Water quality characteristics of condensate from sludge drying process

Li Anfeng^{1,2} Luo Jianping^{1,2} Huang Dan^{1,2} Ma Jianju^{1,2} Tang Jiqiang³

(1. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China;
2. National Engineering Research Center for Urban Environmental Pollution Control, Beijing 100037, China;
3. Beijing Cement Plant Co., Ltd, Beijing 102200, China)

Abstract The condensate from sludge drying has been greatly increased with the rapid increase of sludge production in China. However, biological treatment technology suitable for the condensate is still in its infancy due to its little-known water quality characteristics. In this study, water quality characteristics of the condensate from conductive sludge drying were investigated and some specific suggestions for its biological treatment were offered. The results showed that pH value of the condensate was about 5.3, and the concentrations of NH_4^+-N , volatile fatty acids (VFA), and COD were $(1\ 130 \pm 320)$ mg/L, $(6\ 840 \pm 1\ 150)$ mg/L, and $(13\ 810 \pm 3\ 280)$ mg/L, respectively. Therefore, the condensate was considered to be a kind of high concentration organic and ammonia nitrogen wastewater. Meantime, the condensate was found to be severely lack of macro elements and trace elements, which significantly affected the metabolism and settleability of activated sludge in the biological treatment system. When it was added with the macro and trace elements or adjusted by domestic sewage, the activated sludge settleability could be improved obviously.

Key words sludge drying; condensate; water quality characteristics; nutrient elements

随着城市和工业的发展, 污泥作为污水处理的副产物, 产量急剧增加。2010年, 中国污泥产量近400万t(以干泥计), 预计在2011—2015年期间平均污泥年产量将达到518万t, 数量庞大的污泥的处理成为亟需解决的问题。

污泥含有丰富的有机质和氮、磷、钾等营养元素, 具有极大的农林业、土地改性等利用价值。污泥干化是污泥再利用必要的预处理技术。它通过热能传递, 使污泥中水分蒸发, 可以大幅度减少污泥体积, 降低处置、转运、储存等成本, 同时去除病原体^[1]。但是, 污泥干化会产生大量的冷凝废水, 主

要包括干化工艺过程中产生的冷凝水和干燥降温过程产生的冷却水等。由于高温干化过程会使污泥中的微生物裂解, 脂肪、蛋白质等大分子物质水解, 释放大量挥发性物质, 使得冷凝水中含有大量氨氮和有机物^[2]。

由于我国目前污泥干化厂还未发展成独立的处

基金项目: 北京市环境保护科学研究院科技基金资助项目
(2013A07)

收稿日期: 2013-12-10; 修订日期: 2014-01-08

作者简介: 李安峰(1976—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事水污染治理研究。E-mail: laf8@sohu.com

理体系,污泥干化厂大多与城市污水处理厂配套建设,一般将污泥干化冷凝过程中产生的废水直接输送至污水处理厂处理。由于污泥干化脱水产生的水量不大,在污水处理厂正常运行状况下,对污水原水不会造成明显影响。类似案例如苏州工业园区污泥干化厂、高碑店污水处理厂污泥热干化工程和上海竹园片区污水厂污泥干化工程等。

随着我国污泥干化的专业化、规范化和市场化,污泥干化产生的冷凝水将实现单独处理、达标排放和回用。作为一类特殊的废水,专门针对污泥干化冷凝水的生物处理技术应用鲜有报道,苏州市江远热电有限责任公司污泥干化焚烧综合利用工程将干化过程产生的污泥蒸汽冷却水由化粪池处理达到《污水综合排放标准 GB8978-1996》三级标准后经管网接入城南污水厂。

污泥干化冷凝水生物处理技术,尤其是优质出水的生物处理技术的研发还处于起步阶段,其中的一个关键问题是污泥干化冷凝水水质组成较为特殊,微生物适应性问题还有待于进一步明确。因此,本研究以北京某污泥处置中心冷凝水为研究对象,通过对与微生物生长和繁殖关系较为密切的水质特征分析,明确此类废水的主要组成特点,为冷凝水的生物处理提供技术指导。

1 材料与方 法

1.1 样品采集

实验用的冷凝水水样来自北京某污泥处置中心。该处置中心接收来自清河、北小河和酒仙桥等市政污水厂的市政脱水污泥,日处理量污泥量达 500 t。其中,脱水污泥 TOC 为 286 g/kg 干泥, TN 和 TP 含量为 3% 和 5.95%。

该厂采用的污泥干化工艺为间接传导干化工艺。高温烟气产生的热量经热交换器把热量传递给导热油,导热油被循环加热,干化温度达 250℃。最终将热量传递给湿污泥,使污泥干燥,可使污泥含固率从 20% 上升至 70% 左右,且每干化 1 t 污泥会约产生 0.6 t 冷凝水。由于冷凝水温度较高(大于 50℃),冷凝水先经过冷却系统后再由膜生物反应器(membrane bio-reactor, MBR)工艺处理并回用。

水样监测周期为 1 a,其中常规水质两周分析一次,微量元素每个月分析一次。

1.2 小试装置

小试采用好氧平板式 MBR 处理污泥干化冷凝

水。反应器有效容积均为 60 L,实验过程中溶解氧均控制在 2 mg/L。其中,MBR 膜组件有效膜面积为 0.5 m²,材质为聚偏氟乙烯(PVDF),孔径 < 0.1 μm,由上海斯纳普公司提供。MBR 抽停比为 6:2,污泥浓度为 6 g/L。

1.3 实验仪器

725N 型可见分光光度计(上海精研),COD165 消解仪及便携式酸度计(美国 Thermo 公司),GBC932 型原子吸收光谱仪(澳大利亚 GBC 公司),GBC Integra XL 型电感耦合等离子体发射光谱仪(澳大利亚 GBC 公司),AFS-2202E 双道原子荧光光度计(北京科创海光仪器)。

1.4 分析方法

水样的相关指标分析均根据《水和废水监测分析方法(第 4 版)》^[3]以及相关国家标准测定分析。

TP、TN、氨氮、挥发酚、COD 和挥发性脂肪酸(volatile fatty acids, VFA)的测定分析分别采用钼锑抗分光光度法、过硫酸钾氧化-紫外分光光度法、纳氏试剂光度法、4-氨基安替比林分光光度法、重铬酸钾法以及蒸馏后滴定法。

水样经 HNO₃ 和 HClO₄ 消解后,利用原子吸收分光光度法测定水中 Cu、Zn 以及原子荧光法测定水中 Se;经 HNO₃ 消解后,利用原子吸收分光光度法测定水中 Ni 以及火焰原子吸收光度法测定 Fe、Mn;经过过滤和酸化后,利用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)测定水中 B、Co。

2 结果与讨论

2.1 pH

冷凝水的 pH 为 5.3 ± 0.3,呈酸性。冷凝水的 pH 与挥发性气体的组成和排放速率是密切相关的。VFA 的产生会使污泥干化冷凝水呈现酸性,而当 NH₃ 排放速率高于 VFA 排放速率时,冷凝水将会呈现碱性^[4]。本研究中污泥干化过程产生的冷凝水 VFA 浓度高达 6 840 mg/L,远远高于氨氮浓度,因而冷凝水呈酸性。由于 pH 显著地影响活性污泥的生化活性,因而,在活性污泥法处理冷凝水时,要注意水质 pH 的调节。

2.2 COD

冷凝水 COD 浓度高达(13 810 ± 3 280) mg/L。Deng Wenyi 等^[4]对冷凝液 COD 检测发现,随着干化温度的增高,COD 浓度增加,在 170℃ 时,COD 浓度达到 1 013 mg/L。这一数值与王兴润等^[5]的研

究结果以及绍兴污泥干化厂实际运行结果^[6]接近,但与本次研究的冷凝液 COD 浓度相差较大。这可能与本研究的污泥干化工艺有一定的关系。本研究干化温度达到了 250℃,更有利于污泥微生物水解,溶胞以及脂肪类物质水解等。另外,研究还发现,污泥种类也会影响冷凝水有机物浓度,新鲜污泥干化得到的冷凝水会产生更高的 BOD^[7,8]。根据污泥处置中心的 COD 监测数据显示,冷凝水 COD 在 9 560 ~ 16 230 mg/L,且冬夏两季冷凝水 COD 差异较大,冬季冷凝水 COD 低于夏季冷凝水 COD。这可能是与冬夏温度差异、生活习惯变化等因素引起的污泥性质变化有关。

另外,VFA 浓度为(6 810 ± 1 150) mg/L,以丙酸为例,1 mg 丙酸相当于 1.51 mg/L COD,则 VFA 对应的 COD 浓度占水中 COD 的 75%,VFA 对冷凝水 COD 的贡献较为主要。

2.3 N、P 营养元素

污泥在进行干化时,蛋白质会发生热水解,会产生大量氨气并随着水蒸气释放^[9]。本研究中污泥干化过程中氨气产生量也较大,NH₄⁺-N 浓度高达 1 130 mg/L,使得冷凝水有刺激性氨类臭味。研究还发现,氨氮的释放受干化温度和污泥种类的影响也较明显。随着干化温度从 150℃ 升高到 350℃,冷凝水中氨气的含量从 190 mg/L 上升至 2 310 mg/L^[8],对养猪场废水污泥干化发现,冷凝水中氨氮高达 5 240 mg/L^[2]。而且,冷凝水中氨氮占 TN 的 90% 以上,氮主要以氨氮的形式存在。

冷凝水中 TP 浓度为(9.0 ± 2.1) mg/L,由于污水生物处理中活性污泥一般要求 BOD₅N:P 为 100:5:1 左右,结合 COD 与 TN 可知,P 的浓度远远小于营养要求,因而,在后续冷凝水处理过程中,应该考虑 P 的投加。

2.4 其他营养元素

冷凝水中 COD 和 TN 分别为(13 810 ± 3 280)和(1 210 ± 386) mg/L,能为微生物提供充足的碳源和氮源。但是,Fe((1.1 ± 0.14) mg/L)、B((0.051 ± 0.011) mg/L)、SO₄²⁻((5.07 ± 0.75) mg/L)的浓度远远小于微生物生长所必需的含量,并且其他微生物生长必需的微量元素例如 Mn、Zn、Co、Cu 和 Se 等基本检测不到。由于无机盐构成微生物细胞、酶组分,能够调节渗透压,氧化还原电位等;而微量元素也是微生物维持正常生长所必需的,在处理冷凝水的时候,应该适当投加相应的无机盐等,以防影响

微生物生长代谢,从而影响污水处理效果^[9]。

2.5 酚类

酚类化合物对所有生物一般均有毒性作用,可使蛋白质凝固,含酚废水可使水中生物死亡。活性污泥中虽然微生物数量较大,能降解低浓度含酚废水,但是微生物对酚的耐受性和降解能力均有限^[10,11]。本研究中,冷凝水中挥发酚浓度为(0.93 ± 0.18) mg/L,浓度较低,对活性污泥影响应该不大。但是,挥发酚仍然是冷凝水处理中值得关注的指标,以防挥发酚浓度过高对活性污泥产生毒害作用,影响活性污泥活性。

2.6 冷凝水处理出现的问题

当 MBR 小试系统单独处理冷凝水时,污泥沉降性很差,SV₃₀高达 80%,且上清液较浑浊。将冷凝水与一定量生活污水混合或者补投适量宏量元素(也含有微量元素)后,污泥沉降性能可得到明显改善。同时,处理能力得到一定提升,在未混合生活污水时,平均膜通量为 7 ~ 8 L/(m² · h),但是混合生活污水后,平均膜通量达 15 L/(m² · h)。这可能主要由以下原因引起:

(1) 冷凝水 COD 很高,增加污水厂的运行压力,与生活污水混合后,可以一定程度降低进水负荷,从而一定程度提高处理系统的抗冲击负荷能力。

(2) 营养元素(N 和 P)以及微量元素(如 Fe)的缺乏,可能导致污泥非丝状菌膨胀,进而影响污泥沉降性^[12]。而 K 和 Mg 等宏量元素的投加也被证实可以有效改善污泥沉降性能^[13,14]。而生活污水成分较复杂,含有微生物所需的一些无机盐以及微量元素,使得微生物能够正常代谢,改变污泥絮体结构,进而改变污泥沉降性能。

3 结 论

(1) pH、COD 和 NH₄⁺-N 是污泥干化冷凝水的 3 个重要指标。冷凝废水 pH 为 5.3,氨氮和 COD 分别为 1 130 和 13 810 mg/L,属于高氨氮高 COD 的酸性有机废水,其中 COD 的主要贡献之一来自 VFA。冷凝水中宏量元素(P 和 S 等)和微量元素(Mn 和 Zn 等)含量非常低,难以满足微生物新陈代谢的正常生长。

(2) 根据本研究结果,为冷凝水生物处理提供如下指导建议:①污泥干化冷凝水温度偏高、pH 较低,因而,在进入生化处理系统之前,需进行冷却系统冷却以及水质 pH 的调节,否则易引起污泥系统

崩溃;②污泥干化冷凝水许多宏量元素和微量元素含量不足,当采用活性污泥或基于活性污泥的各类改进的工艺处理时,应考虑相关营养元素的补充或生活污水的配比,确保良好的微生物活性和污泥沉降性能;③本研究冷凝水中挥发酚浓度虽然较低,但是由于其毒性较大,在生物处理过程中应该时刻注意冷凝水中酚类等具有较大挥发性的有毒有机污染物的影响。

参考文献

- [1] Bennamoun L., Arlabosse P., Léonard A. Review on fundamental aspect of application of drying process to wastewater sludge. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2013**, 28:29-43
- [2] Josse J. C., Sutherlin J. W. Organic slurry treatment process:US,6692642. **2004**-2-17
- [3] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第4版). 北京:中国环境科学出版社, **2002**
- [4] Deng Wenyi, Yan Jianhua, Li Xiaodong, et al. Emission characteristics of volatile compounds during sludges drying process. *Journal of Hazardous Materials*, **2009**, 162(1):186-192
- [5] 王兴润,金宜英,杜欣,等. 污水污泥动态间壁热干燥特性及工艺. *化工学报*, **2007**, 58(9):2211-2215
Wang Xingrun, Jin Yiyi, Du Xin, et al. Process and mechanism of indirect thermal drying of sewage sludge. *Journal of Chemical Industry and Engineering (China)*, **2007**, 58(9):2211-2215(in Chinese)
- [6] 李博,王飞,严建华,等. 污水处理厂污泥干化焚烧处理可行性分析. *环境工程学报*, **2012**, 6(10):3399-3404
Li Bo, Wang Fei, Yan Jianhua, et al. Feasibility analysis on drying and incineration of sewage sludge from a wastewater treatment plant. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, **2012**, 6(10):3399-3404(in Chinese)
- [7] Topal M., Arslan E. I. Thermal conditioning of sludge. *Erciyes üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **2009**, 25(1-2):108-119
- [8] Werther J., Ogada T. Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, **1999**, 25(1):55-116
- [9] 周德庆. 微生物学教程(第2版). 北京:高等教育出版社, **2002**
- [10] 任河山,王颖,赵化冰,等. 酚降解菌株的分离、鉴定和在含酚废水生物处理中的应用. *环境科学*, **2008**, 29(2):482-487
Ren Heshan, Wang Ying, Zhao Huabing, et al. Isolation and identification of phenol-degrading strains and the application in biotreatment of phenol-containing wastewater. *Environmental Science*, **2008**, 29(2):482-487(in Chinese)
- [11] 张伟,韦朝海,彭平安,等. A/O/O 生物流化床处理焦化废水中酚类组成及降解特性分析. *环境工程学报*, **2010**, 4(2):253-258
Zhang Wei, Wei Chaohai, Peng Ping'an, et al. Components and degradation characteristics analysis of phenols in coking wastewater in biological fluidized bed A/O/O process. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, **2010**, 4(2):253-258(in Chinese)
- [12] Novak L., Larrea L., Wanner J., et al. Non-filamentous activated sludge bulking in a laboratory scale system. *Water Research*, **1993**, 27(8):1339-1346
- [13] Murthy S. N., Novak J. T. Effects of potassium ion on sludge settling, dewatering and effluent properties. *Water Science and Technology*, **1998**, 37(4-5):317-324
- [14] Cousin C. P., Ganczarczyk J. J. The effect of cationic salt addition on the settling and dewatering properties of an industrial activated sludge. *Water Environment Research*, **1999**, 71(2):251-254