



移动扫码阅读

曹志斌,张俊,王伟,等. 典型生活污水颗粒物粒径分布及沉降性能研究[J].能源环境保护,2022,36(1):72-76.

CAO Zhibin,ZHANG Jun,WANG Wei,et al. Study on particle size distribution and sedimentation performance of particulate matter in typical domestic sewage[J]. Energy Environmental Protection,2022,36(1):72-76.

典型生活污水颗粒物粒径分布及沉降性能研究

曹志斌¹,张俊²,王伟²,黄俊^{3,*}

(1.苏州苏水环境监测服务有限公司,江苏苏州 215131;2.苏州市排水有限公司,江苏苏州 215006;
3.江苏大学国家水泵及系统工程技术研究中心,江苏镇江 212013)

摘要:为明确生活污水颗粒物粒径分布及沉降性能,采用颗粒分析仪测试了三个典型生活污水处理厂进水颗粒物粒径分布,通过静沉试验比较颗粒物分布变化及沉降性能,分析了沉砂作用对颗粒物的去除效果,获得了典型生活污水颗粒物分布的基本特性和静水沉降的一般规律。结果表明:进水颗粒物中位径为8~14 μm,静沉后的中位径降至4~8 μm,颗粒物总数未见降低,但粒径普遍减小;沉砂后水样的中位径为9~15 μm,静沉后的中位径降至4~12 μm;根据沉砂前后的水样粒径分布,沉砂作用对小于50 μm的颗粒物无显著去除效果。

关键词:生活污水;颗粒物;粒径分布;沉降性能

中图分类号:X52

文献标识码:A

文章编号:1006-8759(2022)01-0072-05

Study on particle size distribution and sedimentation performance of particulate matter in typical domestic sewage

CAO Zhibin¹,ZHANG Jun²,WANG Wei²,HUANG Jun^{3,*}

(1.Suzhou Water Environmental Monitoring & Service Co.,Ltd.,Suzhou 215131,China;2.Suzhou Drainage Co.,Ltd., Suzhou 215006,China;3. National Research Center of Pumps,Jiangsu University,Zhenjiang 212013,China)

Abstract:In order to study the particle size distribution and sedimentation performance of domestic sewage,a particle analyzer was used to measure the particle size distribution of influent of three typical domestic sewage treatment plants. The change of particle size distribution and sedimentation performance were compared by sedimentation experiment. The effect of grit setting on particles removal was analyzed. The basic characteristics of particle size distribution and the general rules of sedimentation in typical domestic sewage were obtained. The results show that the median diameter of particles in the influent is 8~14 μm,but decreases to 4~8 μm after sedimentation. The total number of particles does not decrease,but the particle size decreases. The median diameter of particles after grit setting is 9~15 μm,but decreases to 4~12 μm after sedimentation. According to the particle size distribution before and after grit setting,grit setting has no significant removal effect on particles with particle size less than 50 μm.

Key Words:Domestic sewage;Particle;Size distribution;Sedimentation performance

0 引言

颗粒物质是水体的主要污染物之一,水中颗粒物质主要有泥砂、粘土、有机和矿物质颗粒等。

典型生活污水中的颗粒主要来源于居民日常生活中的废弃物、排泄物、经河道渗入和雨水冲刷作用进入污水管网的少量河道土壤和表层土壤等,造成了污水中有机和无机颗粒物增加,从而增加了

收稿日期:2021-09-22;责任编辑:蒋雯婷

基金项目:国家自然科学基金项目(51605200)

第一作者简介:曹志斌(1983-),男,江苏苏州人,高工,硕士,主要研究方向为污水处理。E-mail:178287136@qq.com

通讯作者简介:黄俊(1981-),男,安徽芜湖人,副研究员,博士,主要研究方向为流体机械优化及仿真分析。E-mail:huangjun@ujs.edu.cn

水的浊度和悬浮物浓度,直接影响水体的污水处理工艺和效果^[1-2]。因此,颗粒物检测已成为污水处理过程中一个重要环节^[3-4]。

王驻等人通过考察渤海悬浮物粒径与浓度分布特征为渤海物质输运过程的研究提供了全面的信息^[5];严峻等人通过颗粒计数法对虾大棚养殖废水悬浮物静沉降效果进行了研究^[6];于冬冬通过对海水循环水养殖系统中微细颗粒分析,最终对水处理工艺研究具有指导作用^[7]。颗粒计数方法已越来越多地应用于水环境监测、水处理、膜工艺、水产养殖等行业^[8]。作为颗粒物计数法的一个重要应用领域,水处理行业也逐步将这种新型的水质监测手段应用于生产的各个环节^[9]。目前,《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中将悬浮物(SS)作为生活污水处理的基本控制项目,该参数表示的是单位体积水体中粒径大于 0.45 μm 的颗粒物总质量,无法表征水体中颗粒物的具体组成,为进一步探索生活污水中颗粒物的组成,向生活污水的有效处理提供更全面的信息,有必要对颗粒物的粒径分布进行深入探究。

对于水中粒径大于 50 μm 的颗粒物,沉淀、砂滤等常规水处理工艺对其有较好的去除效果,但对于水体中粒径小于 50 μm 的细小颗粒物,由于处理难度较大,因此在水处理过程中,更加值得关注^[9-12]。为研究典型生活污水及沉砂后水中悬浮物的特征和沉降性能,采用激光颗粒物计数器,生活污水样品分别采自城区范围内三个典型生活污水处理厂:F 厂、L 厂和 D 厂,三厂收集的污水全部为生活污水,其中 D 厂进水分为厂部进水和东环进水。分别考察三个典型生活污水处理厂进厂污水和沉砂后污水的颗粒物粒径(2~50 μm)分布情况;在静止沉降后,测定实验终了时上层水体颗粒物的粒径分布状况;比较静沉前后颗粒物的变化情况,分析不同粒径段颗粒物的可沉降性。本研究旨在发现典型生活污水中悬浮物的性质和沉降规律,为生活污水处理系统的设计和构建提供参考依据。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料及装置

典型生活污水水样分别采于 F、L、D(厂部与东环)三个生活污水处理厂的 4 个进水采样点以及三厂沉砂后污水采样点。

仪器:颗粒分析仪(IBR Versa Count TM)(可检测 2~50 μm 内不同粒径段的颗粒数),磁力搅拌器,烧杯若干。

1.2 试验过程

分别于 F、L、D 厂进水采样点采集典型生活污水样品,合计 4 份;于沉砂后采样点采污水水样 3 份。在磁力搅拌器匀速搅拌的状态下,分别对 4 个混合均匀的污水进行粒径分布检测,每个水样检测 2 次取平均值为检测结果,并计算颗粒物分布的中位径,即粒径的中位数,用 D_{50} 表示^[13-14]。每次检测后对仪器进行反冲洗,除去仪器中剩余的污水。静沉 60 min 水体颗粒物分布能达到初步平衡^[15-17],分别对污水处理厂各进水粒径分布再次测定。重复上述实验流程,分别对 3 个混合均匀的沉砂后污水进行粒径分布检测。随后,对比静沉前后的试验结果,计算各粒径段颗粒物的沉降比例。

2 结果与讨论

2.1 典型生活污水颗粒物分布

如表 1 所示,混合均匀时,F 厂进水颗粒物含量最高,为 27 743 个/mL;L 厂其次,为 23 598 个/mL;东环(D 厂)为 21 551 个/mL;厂部(D 厂)最低,为 16 651 个/mL。静沉 60 min 后,上层水中 F 厂颗粒物含量为 27 427 个/mL,L 厂为 27 754 个/mL,东环(D 厂)为 26 010 个/mL,厂部(D 厂)为 20 443 个/mL。静沉后 L 厂、东环(D 厂)和厂部上层水中 $\geq 2 \mu\text{m}$ 颗粒总数均有所上升。这是由于小颗粒物上浮,导致上层水体小颗粒物增幅大于较大颗粒物沉降数。

表 1 各厂进水颗粒物总数及中位径

Table 1 Total number and median diameter of particulate matter in inlet sewage of each plant

厂名	检测时状态	颗粒物总数/ (个 $\cdot\text{mL}^{-1}$)	中位径 $D_{50}/\mu\text{m}$
F 厂	搅拌	27 743	13.5
	静沉后	27 427	7.7
L 厂	搅拌	23 598	14.0
	静沉后	27 754	9.8
D 厂	厂部搅拌	16 651	8.0
	厂部静沉后	20 443	4.6
	东环搅拌	21 551	13.0
	东环静沉后	26 010	7.5

对颗粒物的不同粒径段进行分析。如图 1 所

示,混匀状态下 F 厂进水样品内 $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 粒径段颗粒物含量最高,为 $6\,179$ 个/mL,占 22% , D_{50} 为 $13.5 \mu\text{m}$;静沉后 F 厂 $2 \sim 10 \mu\text{m}$ 粒径段的颗粒物含量显著增加, $10 \sim 50 \mu\text{m}$ 粒径段的颗粒物含量有所减少, D_{50} 减小至 $7.7 \mu\text{m}$ 。如图 2 所示,L 厂的进水样品内同为 $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 粒径段颗粒物含量最高,为 $5\,596$ 个/mL,占 24% , D_{50} 为 $14.0 \mu\text{m}$;静沉后粒径 $2 \sim 20 \mu\text{m}$ 的颗粒物数量均有所增加, $\geq 20 \mu\text{m}$ 的颗粒物含量则有所降低, D_{50} 减小至 $9.8 \mu\text{m}$ 。东环(D 厂)进水样内 $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 粒径段内颗粒物含量最高,为 $4\,367$ 个/mL,占 20% , D_{50} 为 $13.0 \mu\text{m}$;静沉后粒径 $2 \sim 15 \mu\text{m}$ 的颗粒物数量有所增加, $\geq 15 \mu\text{m}$ 的颗粒物有所减少, D_{50} 减小至 $7.5 \mu\text{m}$,如图 3 所示。由图 4 可知,厂部(D 厂)进水样品内 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 粒径段的颗粒物含量最高,为 $4\,081$ 个/mL,占 25% , D_{50} 为 $8.0 \mu\text{m}$;静沉后粒径 $2 \sim 10 \mu\text{m}$ 的颗粒物数量均显著增加,粒径 $10 \sim 50 \mu\text{m}$ 的颗粒物数量均有所减少, D_{50} 减小至 $4.6 \mu\text{m}$ 。

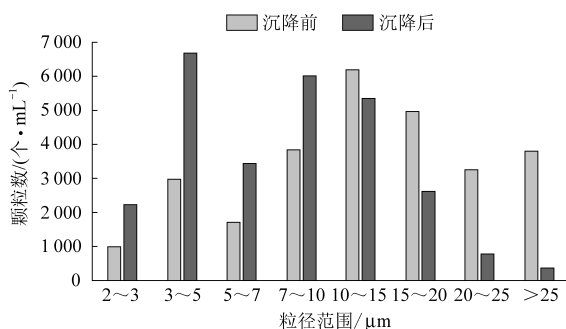


图 1 F 厂进水静沉前后颗粒物粒径分布

Fig.1 Particle size distribution of particulate matter in inlet sewage of plant F before and after sedimentation

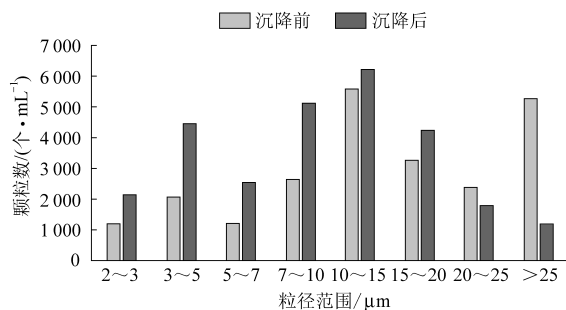


图 2 L 厂进水静沉前后颗粒物粒径分布

Fig.2 Particle size distribution of particulate matter in inlet sewage of plant L before and after sedimentation

静沉试验结果表明,颗粒物的沉降性能与颗粒物的粒径有一定的相关性,小粒径颗粒物易上浮,较大粒径颗粒物易下沉。其中,F 厂和厂部(D 厂)的水样内粒径小于 $10 \mu\text{m}$ 颗粒物发生了上浮,

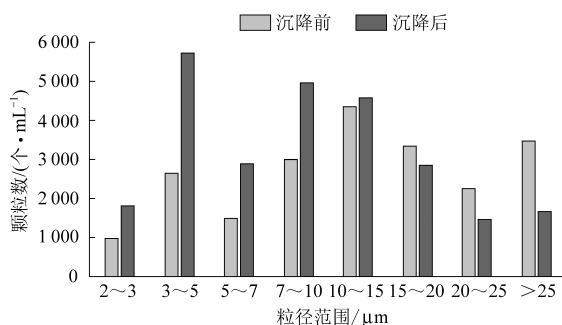


图 3 D 厂(东环)进水静沉前后颗粒物粒径分布

Fig.3 Particle size distribution of particulate matter in inlet sewage of plant D (Dong huan) before and after sedimentation

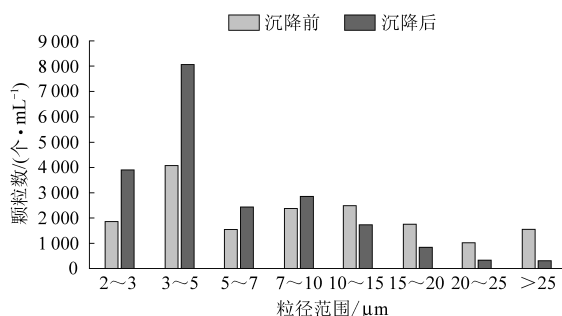


图 4 D 厂(厂部)进水静沉前后颗粒物粒径分布

Fig.4 Particle size distribution of particulate matter in inlet sewage of plant D (Chang bu) before and after sedimentation

导致静沉后上层水中小粒径的颗粒物数量增加,而大于 $10 \mu\text{m}$ 的颗粒物在静沉后发生了沉降,故静沉后上层水中较大粒径颗粒物数量呈较少趋势;东环(D 厂)和 L 厂上浮和下沉的界限分别为 $15 \mu\text{m}$ 和 $20 \mu\text{m}$ 。

2.2 沉砂后污水颗粒物分布

表 2 所示为各厂沉砂后水颗粒物总数及中位径比较结果。沉砂后污水在混合均匀时,F 厂颗粒物总数最高, $\geq 2 \mu\text{m}$ 颗粒数为 $24\,299$ 个/mL;L 厂其次,为 $20\,751$ 个/mL;D 厂为 $19\,680$ 个/mL。静沉后,上层水中 F 厂颗粒物总数为 $24\,819$ 个/mL,L 厂为 $29\,228$ 个/mL,D 厂为 $27\,923$ 个/mL。静沉后,三厂上层水中 $\geq 2 \mu\text{m}$ 颗粒物总数均有所上升,由于小颗粒物上浮,导致上层水体小颗粒物增幅大于较大颗粒物沉降数。

对不同粒径段进行分析,混匀状态下,F 厂沉砂后水样内 $\geq 25 \mu\text{m}$ 粒径段的颗粒物含量最高,为 $6\,423$ 个/mL,占 26% ,颗粒物的中位径 D_{50} 为 $15.2 \mu\text{m}$;静沉后 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ 和 $15 \sim 20 \mu\text{m}$ 粒径段的颗粒物数量增加, $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 、 $10 \sim 15 \mu\text{m}$ 、 $\geq 20 \mu\text{m}$ 粒径段的颗粒物数量均有所减少, D_{50} 减小至 12.2

μm ,如图 5 所示。L 厂沉砂后水样内 $10\sim 15\ \mu\text{m}$ 粒径段的颗粒物含量最高,为 $3\ 754$ 个/ mL ,占 18% , D_{50} 为 $11.1\ \mu\text{m}$;静沉后 $2\sim 10\ \mu\text{m}$ 颗粒物数量均有所增加, $\geq 10\ \mu\text{m}$ 段都有所降低, D_{50} 减小至 $4.9\ \mu\text{m}$,如图 6 所示。D 厂沉砂后水样 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 粒径段含量最高,为 $3\ 909$ 个/ mL ,占 20% , D_{50} 为 $9.5\ \mu\text{m}$;静沉后 $2\sim 10\ \mu\text{m}$ 颗粒物数量有所增加, $10\sim 50\ \mu\text{m}$ 颗粒物有所减少, D_{50} 减小至 $6.1\ \mu\text{m}$,如图 7 所示。

表 2 各厂沉砂后水颗粒物总数及中位径

Table 2 Total number and median diameter of particulate matter in sewage after grit chamber

厂名	检测时状态	颗粒物总数 /(个· mL^{-1})	中位径 D_{50} / μm
F 厂	搅拌	24 299	15.2
	静沉后	24 819	12.2
L 厂	搅拌	20 751	11.1
	静沉后	29 228	4.9
D 厂	厂部搅拌	19 680	9.5
	东环静沉后	27 923	6.1

沉砂后水样静沉试验结果表明,颗粒物的沉降性能与水体中颗粒物的粒径有一定的相关性。其中 L 厂和 D 厂的水样中粒径小于 $10\ \mu\text{m}$ 的颗粒物发生了上浮,而大于 $10\ \mu\text{m}$ 的颗粒物在静沉后发生了沉降,虽 F 厂水样试验结果虽未呈现上述两厂的变化规律,但颗粒物的 D_{50} 值从 $15.2\ \mu\text{m}$ 降至 $12.2\ \mu\text{m}$,整体上呈现大粒径颗粒物减少,小粒径颗粒物增加。

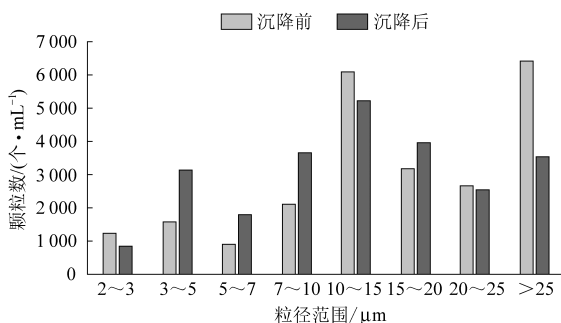


图 5 F 厂沉砂后水样静沉前后颗粒物粒径分布

Fig.5 Particle size distribution before and after sedimentation for water sample after grit setting in plant F

2.3 各典型生活污水、沉砂池后污水颗粒物比较

对于不同地区、不同时段的生活污水,其水量与水质均变化较大。本次试验结果表明,在搅拌混合均匀的状态下,F 厂进水和砂沉后水样内颗粒物含量最多,L 厂次之,D 厂最少。在静沉后,

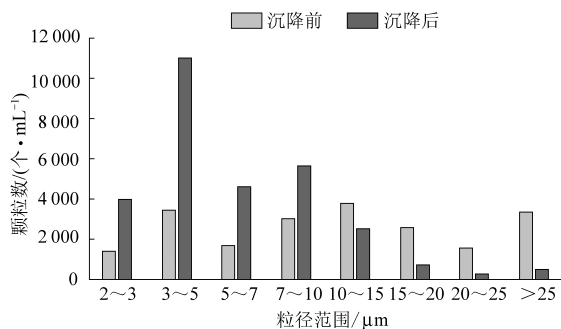


图 6 L 厂沉砂后水样静沉前后颗粒物粒径分布

Fig.6 Particle size distribution before and after sedimentation for water sample after grit setting in plant L

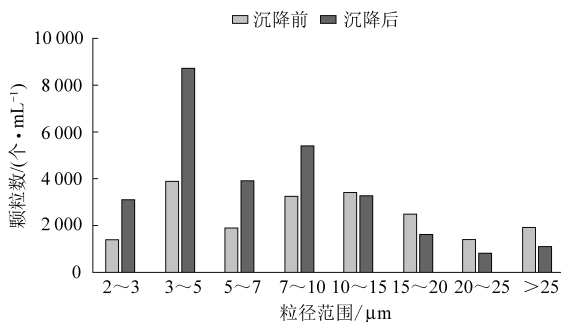


图 7 D 厂沉砂后水样静沉前后颗粒物粒径分布

Fig.7 Particle size distribution before and after sedimentation for water sample after grit setting in plant D

上层水颗粒物与混匀时比较,F 厂进水样品和沉砂后水样均变化不大;而 L 厂和 D 厂无论是原水还是沉砂后水内颗粒物总数均有较大幅度上升。从各水样颗粒物中位径 D_{50} 来看,D 厂原水和沉砂后水样内颗粒物 D_{50} 均为最小,可见其小颗粒物含量较多,而 F 厂和 L 厂颗粒物的中位径 D_{50} 与 D 厂相比偏大。

本次试验所采集的各污水处理厂的水处理工艺各不相同,但前期工艺段(污水进厂后经细格栅、沉砂池进入生物处理环节)的处理流程一致。因此,本研究通过试验对比进厂污水和沉砂池后水内的颗粒物粒径分布情况,旨在考察沉砂作用对污水中 $2\sim 50\ \mu\text{m}$ 颗粒物的去除效果^[18-20]。通过试验发现,沉砂后此粒径段颗粒物总数并未显著减少,其中位径 D_{50} 也无显著变化,由此看出,沉砂对细小颗粒物并无显著去除效果。

2.4 静沉后颗粒物分布情况及难去除颗粒分析

从四个原水、三个沉砂池后水样的分析可看出,通过静沉后大部分水体表现出大颗粒物能够通过自然沉降得到一定的去除,而小颗粒物非但无法减少,且容易浮于上层水体中,使其含量显著增加。上述大小颗粒物的分界线在 $10\ \mu\text{m}$ 附近。

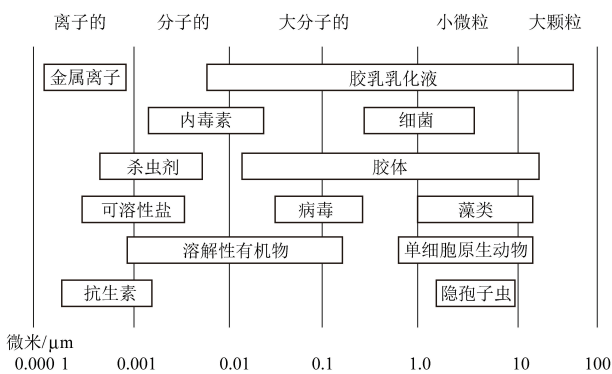


图8 不同物质的粒径分布范围图

Fig.8 Particle size distribution range of different substances

由图8可以看出,离子、分子、大分子和小微粒的粒径均小于10 μm,即包括了金属离子、可溶性盐、所有溶解性的有机物、病毒、细菌、隐孢子虫等,而胶乳乳化物、胶体、藻类、单细胞原生动物的粒径分布则跨越了10 μm。由此可以看出,只有部分胶乳胶体、藻类、单细胞原生动物等大颗粒的物质能在静沉后得到一定的去除。

3 结 论

(1)不同生活污水厂的进厂水颗粒物总数和粒径分布有所区别,但在混合均匀状态,中位径 D_{50} 普遍在8~14 μm范围内;静沉试验后上层污水中颗粒物总数未见降低,但中位径 D_{50} 降低至4~8 μm范围内,粒径普遍减小。

(2)沉砂后水样中,在混合均匀状态时,中位径分布在9~15 μm范围内,静沉试验后上层污水中中位径 D_{50} 分布在4~12 μm范围内,且整体上呈现大粒径颗粒物减少,小粒径颗粒物增加。

(3)对比沉砂池前后污水内颗粒物总数以及粒径分布未发现显著区别,沉砂作用对本次试验范围内(小于50 μm)的颗粒物并无显著去除效果。

参考文献

[1] 戴红霞,许慧敏,杨雪凤.废水颗粒自由沉沈实验课创新设计[J].当代化工研究,2020,22:97-99.
[2] 刘振江,崔玉川.城市污水厂处理设施设计计算[M].北京:化学工业出版社,2018:4-5.

[3] 李圭白,张杰.水质工程学[M].北京:中国建筑工业出版社,2005:86-88.
[4] 汤鸿霄,钱易,文湘华,等.水体颗粒物和难降解有机物的特性与控制技术原理[M].北京:中国环境科学出版社,2000:8-10.
[5] 王驻,江文胜,张学庆等.夏季渤海悬浮物粒径与浓度分布特征研究[J].海洋湖沼通报,2017,5:125-131.
[6] 严峻,章霞,李伟业,等.对虾大棚养殖废水悬浮物静沉降效果初步研究[J].浙江海洋学院学报,2017,32(2):186-189.
[7] 于冬冬.海水循环水养殖系统中微细颗粒去除技术的研究[D].上海:上海海洋大学,2014:18-20.
[8] 窦茵,杨珍.颗粒物计数仪在长江水源水厂常规处理工艺中的应用研究[J].上海水务,2007,23(3):6-9.
[9] 梁华炎.水体中颗粒物主要检测方法综述[J].广东化工,2010,37(5):296-298.
[10] 张磊.水中颗粒物的检测技术研究[D].北京:北京工业大学,2009:16-17.
[11] Ehrbar D, Schmocker L, Vetsch D, et al. Measuring suspended sediments in periglacial reservoirs using water samples, LISST and ADCP[J]. 2016, 15(4):1-18.
[12] Astoreca R, Doxaran D, Ruddick K, et al. Influence of suspended particle concentration, composition and size on the variability of inherent optical properties of the Southern North Sea[J]. Continental Shelf Research, 2012, 35(35):117-128.
[13] Russ C, Hopf R, Siindermann S H, et al. The influence of a lamellar settler in sedimentation tanks for potable water treatment: A computational fluid dynamic study[J]. Powder Technology, 2014, 268(1):139-149.
[14] 彭田,丘仲锋,孙德勇,等.悬浮颗粒物粒径分布的幂律模型研究—以黄渤海为例[J].海洋科学,2016,40(6):110-118.
[15] 季鑫,李莹,姚浩浩,等.浮滤池工艺处理引黄水库水颗粒物变化规律研究[J].市政技术,2019,37(3):185-187.
[16] 王驻,江文胜,张学庆,等.夏季渤海悬浮物粒径与浓度分布特征研究[J].海洋湖沼通报,2015,5:125-131.
[17] 向军,逢勇,李一平,等.浅水湖泊水体中不同颗粒悬浮物静沉降规律研究[J].水科学进展,2008,19(1):111-115.
[18] 辛立伟,李波,吴光学,等.曝气沉砂池除砂效果的影响因素[J].净水技术,2017,36(8):13-19.
[19] 张春艳,董涛,乔万玺,等.旋流沉砂池和曝气沉砂池除砂效果对比[J].水处理技术,2014,40(2):54-56.
[20] 李春光.城镇污水处理厂沉砂池设计探讨[J].给水排水,2014,40(s1):210-212.