

敞开式分离鳃沉淀池试验

陶洪飞¹,邱秀云¹,徐志宗²,郝永志¹,刘芳旭²

(1. 新疆农业大学水利与土木工程学院,新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 新疆德安环保科技有限公司,新疆 乌鲁木齐 830026)

摘要:为比较分离鳃在沉淀池中不同布置形式下的水沙分离效果,对敞开式分离鳃沉淀池进行了静水与动水的沉降试验。试验结果表明:分离鳃均匀悬挂在沉淀池中的布置形式,水沙分离效果要好于靠近溢流口布置和远离溢流口布置两种形式。敞开式均匀布置分离鳃沉淀池在静水沉降时出水浊度随时间变化包含浊度迅速减小与浊度缓慢减小两个阶段;在动水沉降时,水力负荷对浊度变化有很大的影响,水力负荷愈小,该沉淀池的出水浊度值愈小,而当水力负荷达到一定值时,则与普通沉淀池处理高浊度浑水的效果一样,故可以通过控制水力负荷,得到不同的出水浊度,实际应用中选择一个合适的水力负荷是确保出水质量的一个重要条件。

关键词:敞开式分离鳃沉淀池;分离鳃;水力负荷;浊度

中图分类号:TV149 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2012)05-0024-05

An experiment of separation device in open sedimentation tank//TAO Hongfei¹, QIU Xiuyun¹, XU Zhizong², HAO Yongzhi¹, LIU Fangxu² (1. College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Xinjiang Dean Environmental Protection Technology Co., Ltd., Urumqi 830026, China)

Abstract: In order to compare the effect of water-sediment separation under different arrangements of a separation device in a sedimentation tank, settlement experiments were conducted in an separation device in open sedimentation tank under static and dynamic conditions. The results indicate that the water-sediment separation effect with the separation devices uniformly hanging in the sedimentation tank is better than those with the other two arrangement types (with separation devices next to the overflow port and away from the overflow port). When the separation devices are uniformly hung in the separation device in open sedimentation tank, the variation of turbidity with time can be divided into two stages: the stage when turbidity decreases quickly and the stage when turbidity decreases slowly. Under dynamic conditions, the hydraulic loading has a significant impact on the turbidity variation. The smaller the hydraulic loading is, the smaller the turbidity of the sedimentation tank. However, when the hydraulic loading reaches a certain value, the outflow turbidity can be predetermined by controlling the hydraulic loading, which is the same as in common sedimentation tanks. In practical applications, reasonable hydraulic loading is a significant factor in ensuring the good water quality of the outflow.

Key words: separation device in open sedimentation tank; separation device; hydraulic loading; turbidity

我国是世界上河流泥沙问题最严重的国家,河流含沙量高而且泥沙颗粒细,水沙多相流的分离难度大,给工业给水、农村给水和城市给水造成了巨大的负担。在现代净水技术中,利用沉淀工艺达到净水目的的应用非常广泛,这为满足工业用水、农业灌溉及城镇居民用水的需要提供了有力的保障。沉淀工艺是指在重力作用下悬浮固体从水中分离的工艺,如从简单的沉沙、预沉,到混凝沉淀和软化后悬浮物的去除,以及污泥的浓缩。沉淀工艺之所以被广泛采用主要是因为沉淀截留的污泥量大,而且构造简单,管理方便,经营费用低。沉淀池按其构造的

不同可以布置成多种形式,基本类型有竖流式沉淀池、辐流式沉淀池、平流式沉淀池、斜板(管)沉淀池^[1-3]。纵观沉淀构筑物的发展可以发现在 20 世纪 60 年代以前主要采用平流式、竖流式和辐流式沉淀池,60 年代起各种澄清池盛行一时,70 年代后主要是斜板、斜管及“复合型”的沉淀池^[4]。平流沉淀池优点是构造简单,易操作,运行可靠,水质适应性强,故目前仍广泛应用于城市自来水系统;缺点是占地面积大,处理效率低,工业用水处理中较少采用。竖流式沉淀池由于出水表面负荷小,处理效果差,基本上已不被采用。辐流式沉淀池主要用于作高浊度水

的预沉。根据 Hazen 和 Camp 的“浅池理论”,出现了斜板(管)沉淀池,该沉淀池的特点是沉淀效率高、池子容积小和占地面积小,我国各地水厂普遍使用了斜板(管)沉淀池,沉淀效率得到了大幅度提高^[1]。

本文在新疆农业大学水利与土木工程学院邱秀云教授发明的新型净水装置——垂向异重流式水沙分离鳃^[5](以下简称“分离鳃”)和朱超等^[6-11]对该装置研究成果的基础上,结合工业水处理技术,并考虑到分离鳃用于实际工程中的制作及施工工艺,采用敞开式分离鳃沉淀池这种形式进行试验研究,重点分析该沉淀池中的分离鳃在不同布置形式下的水沙分离效果,以对敞开式分离鳃沉淀池用于实际工程提供可靠的理论依据。

1 分离鳃的布置形式

敞开式分离鳃沉淀池把分离鳃悬挂布置在沉淀池中,且淹没于水下,沉淀池水面是敞开的,分离鳃与沉淀池是两个独立体。这种布置形式的优点是制作简单,施工方便,同时也便于原有沉淀池分离鳃的工程改造,方便沉淀池的清淤和维修。根据分离鳃在普通沉淀池中的不同布置方式(均匀布置、靠近溢流口布置、远离溢流口布置),敞开式分离鳃沉淀池可分为3种,即敞开式均匀布置分离鳃沉淀池、敞开式靠近溢流口布置分离鳃沉淀池和敞开式远离溢流口布置分离鳃沉淀池。通过对这3种不同形式的沉淀池试验研究,提出一种水沙分离效果好的敞开式分离鳃沉淀池,以便用于实际工程中。

2 试验装置和材料

2.1 试验装置

图1为试验装置示意图,可知该试验装置由沉淀池和回水池两大部分组成,沉淀池长195 cm,宽200 cm,深210 cm,回水池形状为反L形,用于向沉淀池供水。整个试验为自动循环系统,即在回水池中用搅水泵将浑水进行充分搅拌,搅拌均匀后,开启抽水泵,浑水通过布水管均匀进水,从而进入装有分离鳃的沉淀池中进行水沙分离。分离后的泥沙经泥浆泵进入回水池中,分离出的清水经溢流堰也进入回水池中,重新混合后再次形成一个循环。在溢流堰和泥浆泵出口设有取样口,试验过程中可以随时取样进行分析。图2为用于敞开式分离鳃沉淀池中的分离鳃结构示意图,分离鳃为矩形管状鳃,由鳃管、鳃片构成,鳃片与鳃管的宽度侧壁构成倾斜角 α ,与鳃管的长度侧壁构成倾斜角 β ,但与宽度方向的两侧壁之间保持一定的距离,即鳃片与管壁之间构成清水上升和泥沙下降的通道。实际应用时,分

离鳃上下段为开口状,长度方向的侧壁分布有小孔,小孔的布置要考虑分离鳃内泥沙下降、清水上升的环流不被破坏。本次试验制作的分离鳃相关参数如下:长 $a=30\text{ cm}$,宽 $b=10\text{ cm}$,高 $c=100\text{ cm}$,鳃片间距 $d=6\text{ cm}$,采用优化后的角度: $\alpha=60^\circ,\beta=45^\circ$,鳃片与矩形管两侧壁宽度之间各留3 cm宽的通道。

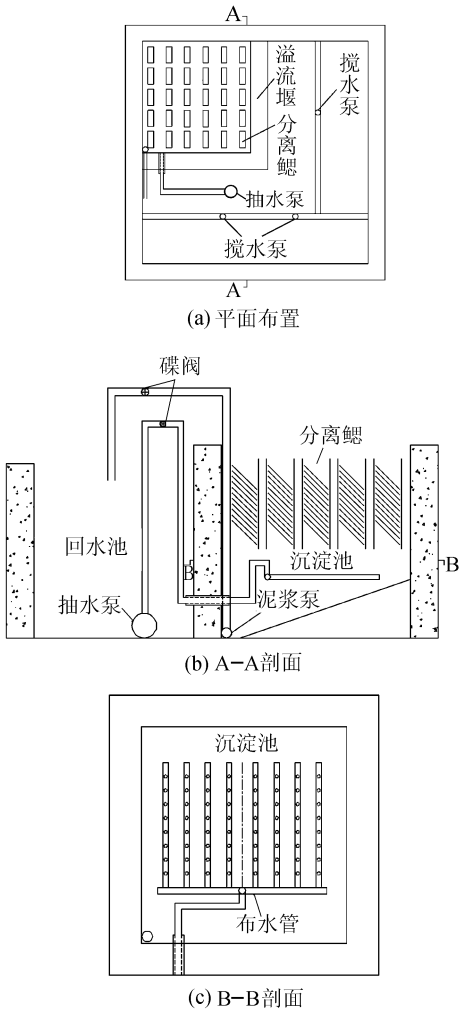


图1 试验装置示意图

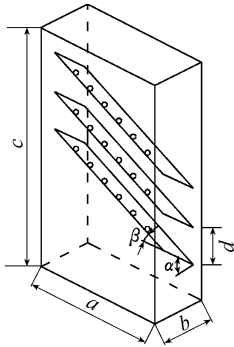


图2 分离鳃结构示意图

2.2 试验材料及仪器

由于分离鳃主要用于处理黏性泥沙,要求浑水中泥沙颗粒较细,因此试验选用新疆乌鲁木齐鲤鱼山的天然黄土作为模型沙,由图3可知其颗粒级配为:颗

粒粒径大于 0.075 mm 的占 6.8%, 小于 0.05 mm 的占 84.7%, 其中值粒径 $D_{50} = 0.019$ mm, 小于 0.01 mm 的占 30.3%, 小于 0.005 mm 的占 16.4%。

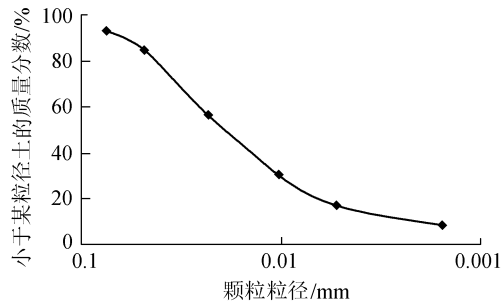


图 3 鲤鱼山黄土颗粒级配曲线

试验所用的仪器主要有:分离鳃 30 个、浊度计 1 台、电子台秤和电子天平各 1 个、搅水泵 3 台、抽水泵 1 台、高效无堵塞泥浆泵 1 台、500 mL 锥形瓶 1 个、玻璃烧杯 2 个、秒表 2 个、温度计 1 个、大白桶和小红桶各 2 个、数码照相机 1 部。

3 试验方案

试验主要目的是研究 3 种不同形式的敞开式分离鳃沉淀池的出水效果,因此可将试验分为 3 部分来研究。一是在敞开式均匀布置分离鳃沉淀池进行静水和动水沉降试验并记录结果;二是在敞开式靠近溢流口布置分离鳃沉淀池进行动水沉降试验并记录结果;三是在敞开式远离溢流口布置分离鳃沉淀池进行动水沉降试验并记录结果。在动水沉降时将配置的浑水用搅水泵充分搅拌均匀后,通过抽水泵将浑水抽到敞开式分离鳃沉淀池中进行水沙分离,利用浊度计测出溢流水的浊度值,并利用秒表、电子台秤分别测出溢流水和泥浆泵抽出的高浑浊水的时间和质量,通过计算得到溢流流量与底孔流量,而静水沉降时仅取样测出浊度值,并利用数码相机拍照记录。

4 试验方法

a. 流量量测。采用称重法量测流量。用秒表记录取样口装满一桶水的时间,并用电子台秤称出 $M_{桶+水}$ 同时用电子天平称出 $m_{瓶+水}$,代入式(1)进行计算,从而得出溢流流量与底孔流量。二者之和为敞开式分离鳃沉淀池的总进流量。

$$Q = \frac{(M_{桶+水} - M_{桶})V_{瓶}}{(m_{瓶+水} - m_{瓶})T} \tag{1}$$

$$Q_d + Q_y = Q_j \tag{2}$$

式中: Q 为流量; $m_{瓶+水}$ 为锥形瓶和瓶中浑水的质量; $m_{瓶}$ 为锥形瓶的质量; $M_{桶+水}$ 为小桶和小桶中浑水的质量; $M_{桶}$ 为小桶的质量; $V_{瓶}$ 为锥形瓶的体积; T 为时间;

Q_d 为底孔出流量; Q_y 为溢出流量; Q_j 为进流量。

b. 浊度量测。采用上海昕瑞仪器仪表有限公司生产的 WGS-4000B 浊度计量测出水浊度值,为了减小误差,在同一时间下取 3 个水样进行量测,算出平均值作为本次量测的浊度值。

c. 含沙浓度量测。为了快捷、准确地测出试验水流的含沙量,采用置换法原理量测含沙量,这样可以大幅度缩短试验周期。试验采用口径 3.5 cm、容积为 500 mL 的小口硬质透明玻璃锥形瓶,克服了比重瓶容积小、瓶口小、注沙误差大又无法直接采样的困难。锥形瓶的容积按规程进行了严格率定,在实验室室温变化 1~5℃ 的情况下,用精度为 0.01 g 的电子天平对现场取得的样品进行称重和计算,得出样品的含沙浓度,与烘干法实测出的含沙浓度相比误差不超过 3.5%,精度满足试验要求。为了确保试验数据的可靠性和准确性,对每一组试验均取样 3 次,取其平均值作为最终的含沙浓度。

5 试验结果与分析

5.1 静水沉降

图 4 为含沙浓度 13.3 kg/m³ 下浊度随时间的变化。从图 4 可以看出敞开式均匀布置分离鳃沉淀池中出水浊度随时间变化情况分为两个阶段:①浊度迅速减小阶段,在 0~250 min 内,出水浊度随着时间的推移而迅速减小,出水浊度减小幅度很大,即浊度迅速减小段;②浊度缓慢减小阶段,在 250 min 后,浊度随着时间的推移逐渐减小并趋于稳定。两个阶段浊度随时间变化关系可用式(3)拟合:

$$z = 0.0071t^2 - 7.7673t + 2437 \tag{3}$$

式中: z 为出水浊度,NTU; t 为沉降累积时间,min。

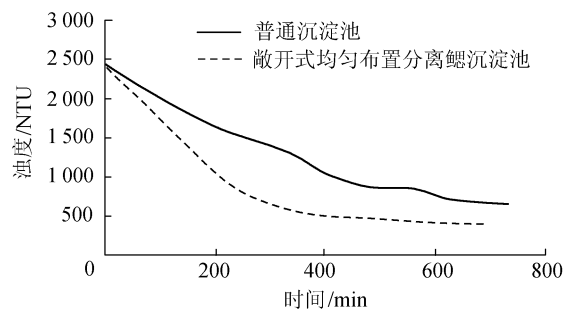


图 4 不同沉淀池出水浊度与时间的关系

试验还量测了无分离鳃普通沉淀池的出水浊度随时间的变化关系。试验表明,无分离鳃的普通沉淀池出水浊度随时间的推移而缓慢减小,出水浊度变化幅度很小,浊度随时间的关系可拟合为

$$z = 0.0027t^2 - 4.4086t + 2419.9 \tag{4}$$

从图 4 可以看出,在相同的时间内,敞开式均匀布置分离鳃沉淀池出水浊度比普通沉淀池要小得多,

如350 min 时,普通沉淀池的出水浊度为1 208 NTU,而敞开式均匀布置分离鳃沉淀池的出水浊度仅为588 NTU,约为普通沉淀池出水浊度的 1/2。这主要是因为敞开式均匀布置分离鳃沉淀池中分离鳃的存在破坏了高含沙浑水中泥沙下沉时形成的刚性空间结构网,泥沙仅仅形成絮团结构下沉,可以使泥沙沉速成千成万倍地增大,同时分离鳃中的鳃片加大了泥沙的沉淀表面积,并且把整个分离鳃划分为一个个独立的沉降区域,大幅度缩短了泥沙沉淀的距离,减少了沉淀时间,加大了泥沙的沉速,因此敞开式均匀布置分离鳃沉淀池的泥沙颗粒会大量沉入沉淀池底部,表层水的含沙浓度很快降低,因此在该沉淀池中表层水的浊度很低。而含黏性泥沙的高含沙浑水在泥沙沉降过程中,絮团与絮团之间仅仅形成一个连续的刚性空间结构网,会直接导致泥沙沉速的大幅度下降^[12],在相同条件下,普通沉淀池表层水的浊度值比敞开式均匀布置分离鳃沉淀池要大得多,因此两者相比敞开式均匀布置分离鳃沉淀池水沙分离效果优势明显。

5.2 动水沉降

5.2.1 不同时间水力负荷对出水浊度的影响

图5为含沙浓度10~15 kg/m³下不同水力负荷不同形式的敞开式分离鳃沉淀池出水浊度随时间

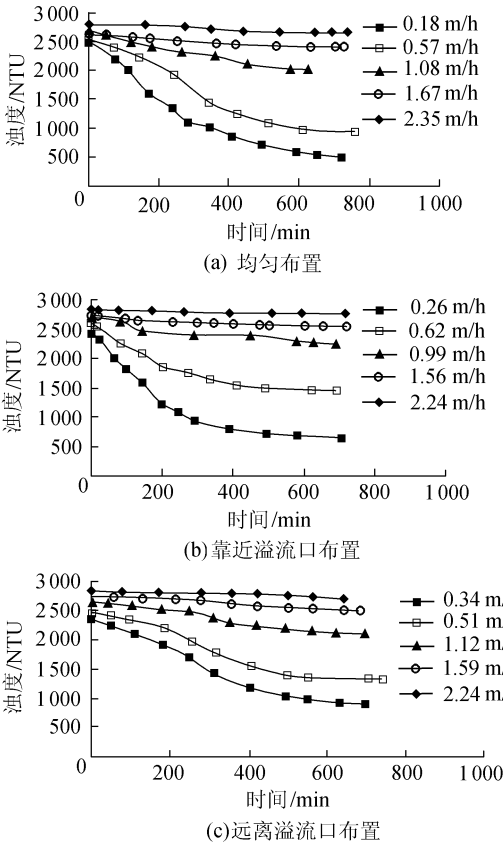


图5 不同水力负荷下出水浊度与时间的关系

变化的关系。由图5可知,水力负荷对浊度变化影响很大,当水力负荷小时浊度随时间变化有明显的浊度迅速减小段和浊度缓慢减小段,且在浊度迅速减小段,水力负荷越小,浊度减小的幅度就越大。而当水力负荷大时出水浊度随时间缓慢减小或几乎不变化。如图5(a)当水力负荷小于1.67 m/h 时,水力负荷对出水浊度的变化很敏感,而当水力负荷大于1.67 m/h 时,水力负荷几乎不变化。这是由于黏性细颗粒泥沙在动水沉降时,水流紊动对细颗粒泥沙絮凝沉降的影响具有正负效应^[13-17],即在低剪切紊动作用下,促进颗粒絮凝,而在高剪切紊动作用下,抑制颗粒絮凝。当水力负荷小时,水流紊动剪切作用也很小,此时水流紊动增加了颗粒之间的碰撞几率,从而黏性泥沙颗粒可以形成较大的絮团,这时絮团所受重力作用大于水流的剪切破坏作用,絮团会在重力作用下快速沉降,悬沙落淤增加,大量泥沙沉入沉淀池底部,使得敞开式均匀布置分离鳃沉淀池表层水体含沙浓度迅速降低,故溢出水的浊度值快速减小;但随着时间的推移,泥沙不断沉降,大的絮凝团迅速减少,从而絮团发育达到稳定平衡状态,即紊动-碰撞-黏结作用和紊动-破裂作用相当,絮团的生成速率等于破解速率,表现为浊度值不再随时间变化,而是趋于一个稳定值。当水力负荷增大时,浑水的紊动剪切作用也较大,水流的紊动增加了泥沙的碰撞几率,但同时水流的剪切破坏作用可以将黏结不牢固的絮凝颗粒剪切分离,较大的絮团破碎成较小的颗粒,起到阻滞絮凝的作用,此时泥沙颗粒所受的向上扩散作用大于重力作用,在水力负荷一定时,水体中始终会保持一定量的泥沙向上运动并随水流带出沉淀池,使得出水浊度值随时间变化很小或几乎不发生变化,并且出水浊度值相对水力负荷小时要大。因此选择一个合适的水力负荷范围是确保出水质量的一个重要条件。

5.2.2 同一时间水力负荷对出水浊度的影响

图6为750 min 时含沙浓度10~15 kg/m³的浑水、不同布置形式的敞开式分离鳃沉淀池和普通沉

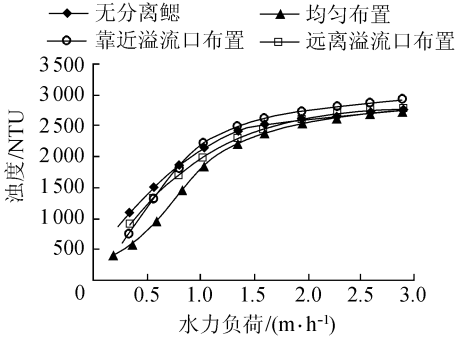


图6 分离鳃不同布置形式下水力负荷与浊度的关系

淀池中出水浊度与水力负荷的变化关系。从图 6 可知,无分离鳃的普通沉淀池、靠近溢流口布置和远离溢流口布置的分离鳃沉淀池的出水浊度均随着水力负荷的增大而增大,但在同一水力负荷下,出水浊度值几乎相等,故分离鳃这两种布置形式下的敞开式分离鳃沉淀池不可取。同时从图 6 可以得到均匀布置分离鳃沉淀池在水力负荷小于 1.00 m/h 时,水沙分离效果要好于其他 3 种布置形式,尤其是好于无分离鳃的沉淀池,在水力负荷大于 1.00 m/h 后,这 4 种沉淀池出水浊度值几乎相等。由此表明,水力负荷愈小,分离鳃在沉淀池中的效果愈明显(如当水力负荷为 0.24 m/h 时,均匀布置分离鳃沉淀池的出水浊度为 500 NTU,而普通沉淀池的浊度为 882 NTU),水力负荷达到一定值时,分离鳃便失去了作用,因此选择一个合适的水力负荷是确保出水质量的一个重要条件。

由沉淀基本理论^[1-2,18-19]可知,沉淀效率是沉淀面积的函数,面积越大,沉淀效率越高,当池中水力负荷与流量一定时,其沉淀效率与水平沉淀面积成正比,在沉淀池中装置了分离鳃以后,鳃片增加了泥沙的沉淀面积,因此可以大幅度提高沉淀效率,同时鳃片加大了过水断面的湿周,可减小水力半径,在同样流速下,可降低雷诺数,从而提高水流的稳定性,减小水的紊动,促进沉降。故在水力负荷小于 1.00 m/h 时,均匀布置分离鳃沉淀池分离出来的水的浊度要比无分离鳃的普通沉淀池小得多。

6 结 论

a. 敞开式均匀布置分离鳃沉淀池出水效果要好于其他两种布置形式,且敞开式均匀布置分离鳃沉淀池在静水沉降时出水浊度随时间变化情况分为浊度迅速减小和浊度缓慢减小两个阶段。

b. 在动水条件下,水力负荷对浊度变化有很大的影响,水力负荷愈小,分离鳃的效果愈明显,而当水力负荷达到一定值时,分离鳃便失去了作用,即与无分离鳃的沉淀池处理高浊度浑水的效果一样。

c. 实际应用中,应将分离鳃均匀悬挂布置在沉淀池中。

参考文献:

[1] 上海市政工程设计研究院. 给水排水设计手册[M]. 北京:中国建筑出版社,2004:518-546.
[2] 丁恒如,吴春华,龚云峰. 工业用水处理工程[M]. 北京:清华大学出版社,2005:76-91.
[3] 高廷耀,顾国维,周琪. 水污染控制工程[M]. 北京:高等教育出版社,2007:42-56.

[4] 王华生,刘祖文. 沉淀工艺的研究现状及其发展趋势[J]. 铜业工程,2004(1):54-56.
[5] 邱秀云,龚守远,严跃成,等. 一种新型水沙分离装置的研究[J]. 新疆农业大学学报,2007,30(1):68-70.
[6] 朱超,邱秀云,严跃成. 垂向异重流式水沙分离鳃水沙分离机理浅析[J]. 水利水电科技进展,2009,29(5):20-23.
[7] 朱超,邱秀云,刘艳. 垂向异重流式水沙分离鳃片型式对水沙分离的影响研究[J]. 新疆农业大学学报,2008,31(6):72-75.
[8] 朱超,龚守华,邱秀云,等. 垂向异重流式水沙分离鳃片间距对水沙分离的影响研究[J]. 新疆农业大学学报,2009,32(2):78-81.
[9] 张翔,邱秀云,李琳,等. 垂向异重流式分离鳃在动水中的集成试验研究[J]. 新疆农业大学学报,2010,33(4):359-362.
[10] 张翔,邱秀云,李琳,等. 垂向异重流式分离鳃在静水中的集成试验[J]. 水利水运工程学报,2011(2):89-93.
[11] 严跃成,邱秀云,张翔,等. 两相流分离鳃泥沙运动轨迹及加速滑移的力学分析[J]. 水利水电科技进展,2011,31(5):27-29.
[12] 钱宁,万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京:科学出版社,1983:43-79.
[13] KRANENBURG C. Effects of flocc strength on viscosity and deposition of cohesive suspensions[J]. Continental Shelf Research,1999,19(4):1665-1680.
[14] KRANENBURG C. The fractal structures of cohesive sediment aggregates[J]. Continental Shelf Research,1994,39(6):451-460.
[15] 杨美卿,钱宁. 紊动对细泥沙浆液絮凝结构的影响[J]. 水利学报,1986(8):21-30.
[16] 朱中凡,赵明,杨铁笙. 紊动水流中细颗粒泥沙絮凝发育特征的试验研究[J]. 水力发电学报,2010,29(4):77-83.
[17] RAMIREZ H, RODRIGUEZ O, SHAINBERG I. Effect of gypsum on furrow erosion and intake rate[J]. Soil Science,1999,16(4):351-357.
[18] 于尔捷,张杰. 给水排水工程快速设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1996.
[19] BANDROWSKI J, HEHLMANN J, MERTA H, et al. Studies of sedimentation in settlers with packing[J]. Chem Eng Process,1997,36(3):219-229.

(收稿日期:2011-12-26 编辑:熊水斌)

