

不同泥沙粒径下的分离鳃内部流场 三维数值模拟

陶洪飞¹,邱秀云¹,李巧¹,苏建江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. 国电新疆吉林台水电开发有限公司,新疆 伊犁 835716)

摘要:为研究泥沙粒径对分离鳃的速度场及水沙分离效果的影响,采用层流模型和欧拉模型,运用PC-SIMPLE算法,对分离鳃内的水沙两相流流场进行了三维数值模拟。计算结果表明:当泥沙粒径 $d=0.0001\text{ mm}$ 时,分离鳃内的流场与其他泥沙粒径时有所不同;当 $0.005\text{ mm}\leq d\leq 0.035\text{ mm}$ 时,分离鳃内不同粒径泥沙水流的流场相同;当 $0.015\text{ mm}\leq d\leq 0.035\text{ mm}$ 时,分离鳃处理泥沙效果最好,且泥沙粒径越大,去除率越高,水沙分离速度就越快。

关键词:泥沙粒径;分离鳃;欧拉模型;去除率;数值模拟

中图分类号:TV14;TV131.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2014)05-0017-07

Three-dimensional numerical simulation of internal flow field in gill-sheet separation device under different sediment grain size//TAO Hongfei¹, QIU Xiuyun¹, LI Qiao¹, SU Jianjiang²(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Guodian Xinjiang Jilintai Hydropower Development Co., Ltd., Yili 835716, China)

Abstract: Three-dimensional numerical simulation adopting the laminar model and Euler model were conducted to the flow field of water-sediment two-phase in gill-sheet separation device to study how the sediment grain size effects upon velocity field and water-sediment separation by using PC-SIMPLE algorithm. The results show that the velocity flow is the same in the gill-sheet separation device when sediment grain size ranges from 0.005 mm to 0.035 mm and when the it is different the sediment grain size is 0.0001 mm. The best performance is observed when gill-sheet separation device handles sediment grain size that ranges from 0.015 mm to 0.035 mm. Additionally, the greater sediment grain size is, the higher removal is. Meanwhile the faster the water-sediment separation is.

Key words: sediment grain size; gill-sheet separation device; Eulerian model; removal; numerical simulation

我国是世界上河流泥沙问题最严重的国家之一。据观测资料统计,我国西北和华北地区的大部分河流都具有含沙量高且泥沙颗粒细的特点,这给工业用水、生活用水以及多沙河流沿岸居住分散的农牧民群众用水造成极大的不便,并对灌区的滴、喷灌设备带来很大的危害,灌溉时常会发生喷头或滴灌头流道堵塞的问题,严重制约了喷、滴灌等先进节水灌溉技术的推广和应用。

分离鳃是新疆农业大学水利与土木工程学院水力学教研室课题组研制的一种新型的水沙两相流分离装置,与传统水沙分离方法相比,分离鳃具有分离速度快、结构简单、造价低廉及运行费低等特点,同

时分离出来的清水和排出的泥沙对人体及周围环境无害。因此分离鳃对解决分散居住的农牧民生活用水问题具有积极意义,同时分离鳃作为灌区泥沙前期处理设施,可为灌区滴、喷灌提供优质水源,促进节水灌溉技术在多沙河流地区的推广应用。根据文献[1-12]可知,目前分离鳃已做了如下研究:通过系列模型试验和理论分析,探明了分离鳃的分离机理以及分离鳃内水沙分离的水流结构,并对其结构进行了优化;运用粒子图像测速技术测试了分离鳃内部流场,并利用流体软件 Fluent 对分离鳃内部的水沙两相流流场进行了数值模拟,获得了分离鳃内部的流场分布;在上述研究的基础上提出了分离鳃应

基金项目:国家自然科学基金(50969009);国家星火计划(2012GA890002);新疆水利水电工程重点学科基金(xjsgczdxk20101202)

作者简介:陶洪飞(1987—),男,四川南充人,博士研究生,主要从事计算水力学及河流泥沙工程研究。E-mail:304276290@qq.com

通信作者:邱秀云(1955—),女,江苏泗阳人,教授,主要从事水力学及河流动力学研究。E-mail:wlmqxy@sina.com

用于实际工程的集成形式,并对此形式进行了室内模型集成试验与室外大比尺试验。影响分离鳃的水沙分离效果的因素有多种,其中泥沙颗粒的大小对其沉淀效率不容忽视。文献[13]通过流体软件 Fluent 模拟了分离鳃内水沙两相流流场,对计算结果与粒子图像测速 (particle Image velocimetry, PIV) 的测试结果进行了定性与定量的比较,发现欧拉模型适合模拟分离鳃内的水沙两相流流场,故本文采用欧拉模型模拟静水中不同泥沙粒径下分离鳃内部的水沙两相流流场,分析和讨论泥沙粒径对分离鳃内部流场及沉淀效果的影响,为分离鳃的推广应用奠定基础。

1 模型建立

1.1 分离鳃结构

分离鳃由鳃片与鳃管构成,静水沉降时,分离鳃的上端为开口状,下端呈封闭状,该装置的典型结构特征见图 1。分离鳃的主要特征尺寸有鳃片间距 d 、鳃片与鳃管宽度侧壁构成的 α 倾斜角、鳃片与鳃管长度侧壁构成的 β 倾斜角、清水流上升通道宽度 e 及泥沙流下降通道宽度 f 。采用的分离鳃特征尺寸为: $a=10\text{ cm}$, $b=5\text{ cm}$, $c=40\text{ cm}$, $d=5\text{ cm}$, $e=f=1\text{ cm}$, 采用优化后的倾斜角 $\alpha=60^\circ$ 和 $\beta=45^\circ$ 。

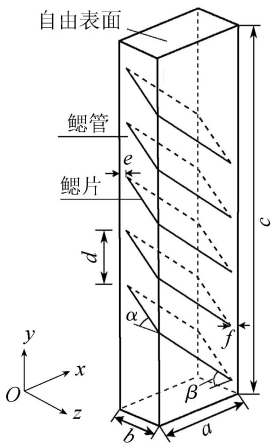


图 1 分离鳃结构示意图

1.2 数学模型

考虑本研究源项为零,欧拉模型的质量守恒方程为

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varphi_q \rho_q) + \nabla \cdot (\varphi_q \rho_q \mathbf{v}_q) = 0 \quad (1)$$

式中: ∇ 是那勃勒算子; $\mathbf{v}_q$ 为第 q 相的流速; φ_q 为第 q 相的体积分数; ρ_q 为第 q 相的物理密度。

数值模拟中升力相对于曳力是不重要的,因此动量守恒方程中不包含升力;泥沙(第 q 相)的密度远大于水(第 p 相)的密度,虚拟质量力可忽略不计,则动量守恒方程为

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varphi_q \rho_q \mathbf{v}_q) + \nabla \cdot (\varphi_q \rho_q \mathbf{v}_q \mathbf{v}_q) =$$

$$-\varphi_q \nabla p' + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}_q + \sum_{p=1}^n \mathbf{R}_{pq} + \varphi_q \rho_q \mathbf{F}_q \quad (2)$$

其中

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\tau}_q &= \varphi_q \boldsymbol{\mu}_q (\nabla \mathbf{v}_q + \nabla \mathbf{v}_q^T) + \\ &\alpha_q \left(\lambda_q - \frac{2}{3} \boldsymbol{\mu}_q \right) \nabla \cdot \mathbf{v}_q \mathbf{I} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: t 为时间; $\mathbf{v}_q$ 为第 q 相的流速矢量; p' 为水与沙共同承担的压力; $\boldsymbol{\tau}_q$ 为第 q 相的压力应变张量; $\mathbf{R}_{pq}$ 为水与沙之间的作用力; $\mathbf{F}_q$ 为第 q 相的外部体积力张量; λ_q 与 $\boldsymbol{\mu}_q$ 分别为第 q 相的体积黏度和剪切黏度; $\mathbf{I}$ 为单位张量。

$\mathbf{R}_{pq}$ 取决于压力、摩擦、内聚力等的影响,其计算公式如下:

$$\sum_{p=1}^n \mathbf{R}_{pq} = \sum_{p=1}^n K_{pq} (\mathbf{v}_p - \mathbf{v}_q) \quad (4)$$

$$\text{其中 } K_{qp} = \frac{3\varphi_q \varphi_p \rho_p}{4v_{r,q}^2 d_q} C \left(\frac{Re_q}{v_{r,q}} \right) |\mathbf{v}_q - \mathbf{v}_p| \quad (5)$$

$$C = \left(0.63 + \frac{4.8}{\sqrt{Re_q/v_{r,q}}} \right)^2 \quad (6)$$

$$Re_q = \frac{\rho_p d_q |\mathbf{v}_q - \mathbf{v}_p|}{\boldsymbol{\mu}_p} \quad (7)$$

$$v_{r,q} = 0.5(A - 0.06Re_q + \sqrt{(0.06Re_q)^2 + 0.12Re_q(2B - A) + A^2}) \quad (8)$$

$$A = \varphi_p^{4.14} \quad (9)$$

$$B = \begin{cases} 0.8\varphi_p^{1.28} & \varphi_p \leq 0.85 \\ \varphi_p^{2.65} & \varphi_p > 0.85 \end{cases} \quad (10)$$

式中: K_{qp} 为相间动量交换系数; φ_p 为第 p 相的体积分数; ρ_p 为第 p 相的物理密度; C 为曳力函数; Re_q 为第 q 相的雷诺数; $v_{r,q}$ 为与泥沙相关的末端流速; $\mathbf{v}_p$ 为第 p 相的流速矢量; d_q 为第 q 相的直径; A 和 B 为系数; $\boldsymbol{\mu}_p$ 为 p 相的剪切黏度。

罗菲^[9]利用埃施理论说明泥沙颗粒在分离鳃静水沉降过程中,水沙之间不会相互混掺,水流较稳定且流态为层流,故选择层流模型与欧拉模型来模拟分离鳃中的流场。层流模型的方程如下:

$$\left. \begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{v} &= 0 \\ \rho \left[\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right] &= -\nabla p'' + \boldsymbol{\mu} \nabla^2 \mathbf{v} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

式中: $\mathbf{v}$ 为流速矢量; p'' 为流体静压; $\boldsymbol{\mu}$ 为流体的动力黏滞系数。

1.3 计算方法

分离鳃的计算区域和基本控制方程的离散采用有限体积法^[13]。考虑减小数值模拟的计算工作量和保证计算精度,最终采用优化后的四面体非结构性格网,网格数共计 81 714 个。流相的离散格式采

用具有良好迁移特性和较好稳定性的一阶迎风格式。对欧拉多相流计算,采用 PC-SIMPLE 算法来计算离散后的线性代数方程组,各方程计算精度均为 0.001。

1.4 边界条件

a. 分离鳃上端边界条件:分离鳃中泥沙颗粒作静水沉降运动,分离鳃上端为一水平的自由表面,分离鳃内的水头大小不变,且水面沿 y 轴负方向无波动现象,可以认为流速及其他各个变量沿 y 方向的梯度都为零,故可采用“刚盖假定”。在自由表面上采用对称边界条件处理。

b. 壁面边界条件:分离鳃的固体边壁包括鳃片、鳃管下端和鳃管外围边壁,其边界条件采用无滑移边界条件。

1.5 模型参数及运行效果

初始化时,设置时间步长为 0.0001 s,求解时间步数为 1×10^6 ,每个时间步数最多的迭代次数为 200。时间步数为 0~1000 时,各方程的残差线波动很大,1000 步以后波动很小;当时间步达到 20000 时,残差线都在数值 0.001 以下,说明各方程的计算精度均达到 0.001,各方程已经收敛;随着进一步的求解计算,收敛效果更好,此时可适当增大时间步长,以减少计算时间。

2 监测面与工况设置

为得到不同泥沙粒径下分离鳃中的泥沙分布特性,在数值模拟计算过程中应监测 y 方向(高度方向)的平均含沙量与时间的关系,以便对数值计算结果进行分析和对比,具体的断面位置见图 2。

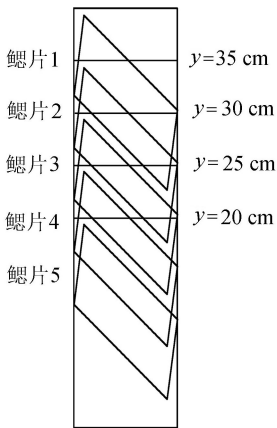


图2 不同位置的监测面

分离鳃的计算区域包括水和沙两种介质,将水定义为主相,泥沙颗粒为第 2 相,假定泥沙颗粒为球形。研究泥沙粒径对分离鳃内部流场及沉淀效果的影响时,水的密度 $\rho_w = 998.2 \text{ kg/m}^3$,泥沙颗粒的密度 $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$,浑水含沙量 $S = 10 \text{ kg/m}^3$,它们均

为固定值,已有的试验表明分离鳃在处理细颗粒泥沙时能体现出其优越性,故按表 1 中的不同工况进行数值模拟计算。

表1 泥沙粒径的工况设置

工况	泥沙粒径 d/mm
1	0.035
2	0.025
3	0.015
4	0.01
5	0.005
6	0.0001

3 数值模拟结果与分析

3.1 鳃片表面的流速矢量分布

限于篇幅,本文只给出了工况 1、4、6 的欧拉模型数值模拟结果(工况 2、3、5 的计算结果同工况 1、4),即给出这 3 种工况下鳃片 1(靠近分离鳃的自由表面)、鳃片 3(位于分离鳃中间)、鳃片 5(靠近分离鳃底端)和 z 方向各断面的流速矢量分布,通过对比分析确定泥沙粒径对分离鳃内流速分布规律的影响。

当计算沉降时间为 400 s 时,不同泥沙粒径下鳃片 1、3、5 的上、下表面流速矢量分布如图 3~8 所示。当 $d=0.035 \text{ mm}$ 和 $d=0.01 \text{ mm}$ 时,同一鳃片的上表面流速分布规律一致,同样鳃片下表面的流速分布规律也一致;当 $d=0.0001 \text{ mm}$ 时,鳃片上、下表面的流速分布规律与上述两种泥沙粒径下的流速分布规律有所不同。相同泥沙粒径下不同鳃片的上表面流速分布规律有所不同,下表面流速分布规律也不同,这与鳃片在分离鳃中的位置有关。

从图 3 可知,当 $d=0.035 \text{ mm}$ 和 $d=0.01 \text{ mm}$ 时,鳃片 1 上表面的水流先以倾斜角 α 沿鳃片短边向下滑动,当滑至鳃片长边时以倾斜角 β 贴壁向下滑动;当 $d=0.0001 \text{ mm}$ 时,鳃片上表面的水流完全呈放射状。从图 4 和图 5 可看出,当 $d=0.035 \text{ mm}$ 和 $d=0.01 \text{ mm}$ 时,鳃片 3 与鳃片 5 上表面的流速分布规律同鳃片 1 上表面,但因泥沙通道中下落水流的影响,从而这两个鳃片上表面右上角的流速呈向内放射状;当 $d=0.0001 \text{ mm}$ 时,鳃片 3 与鳃片 5 上表面的水流在鳃片高端区域形成顺时针漩涡,低端区域则有部分水流以倾斜角 β 向下滑动。

从图 6 和图 7 可知,当 $d=0.035 \text{ mm}$ 和 $d=0.01 \text{ mm}$ 时,鳃片 1 与鳃片 3 下表面的水流先以倾斜角 α 沿鳃片短边向上流动,当流至鳃片长边时以倾斜角 β 贴壁向上流动,但因清水通道中上升水流的影响,从而这两个鳃片下表面左下角的流速呈向内放射状;当 $d=0.0001 \text{ mm}$ 时,鳃片 1 与鳃片 3 下表面的水流在鳃片低端区域形成顺时针的漩涡,高

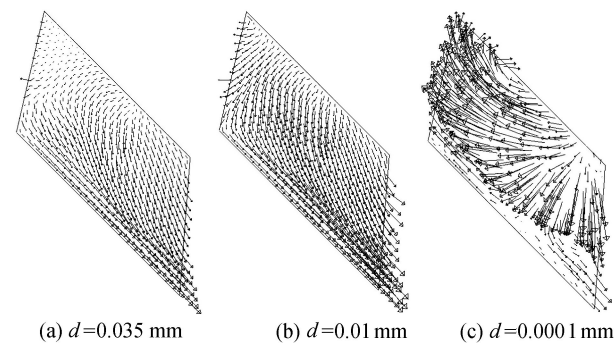


图3 鳃片1上表面流速矢量分布

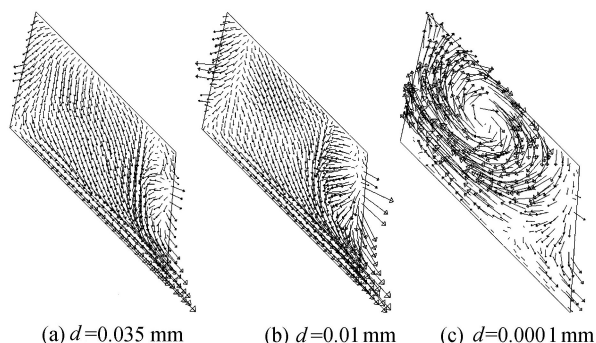


图4 鳃片3上表面流速矢量分布

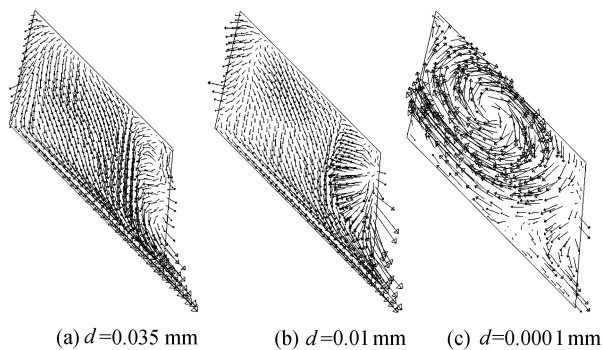


图5 鳃片5上表面流速矢量分布

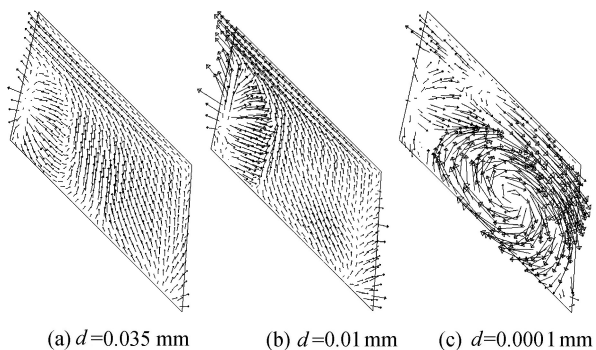


图6 鳃片1下表面流速矢量分布

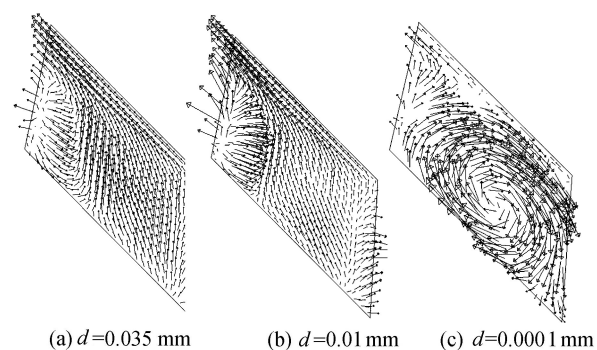


图7 鳃片3下表面流速矢量分布

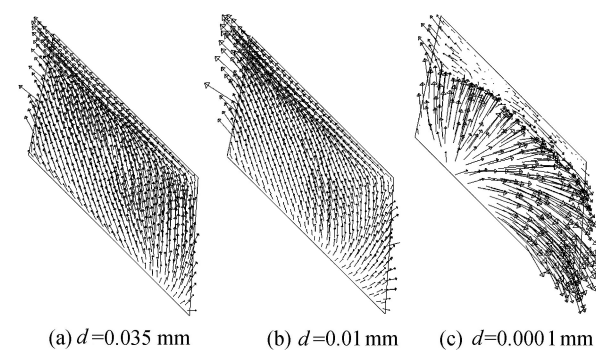


图8 鳃片5下表面流速矢量分布

端区域则有部分水流以倾斜角 β 向上流动。从图8中可看出,当 $d=0.035\text{ mm}$ 和 $d=0.01\text{ mm}$ 时,鳃片5下表面的流速分布规律与鳃片1、鳃片3的下表面相同,但因鳃片5靠近分离鳃的底端,清水通道中上升水流对其流场没有影响,故左下角不存在流速呈向内放射状的现象;当 $d=0.0001\text{ mm}$ 时,鳃片下表面的水流完全呈放射状。

泥沙颗粒沉降到鳃片长边时,其受力状态如图9所示。水流阻力 F_D 与摩阻力 F_f 与泥沙运动方向相反;上举力 F_L 与斜面支撑力 F_R 与斜面垂直;泥沙颗粒的有效重力 W 竖直向下。采用泥沙颗粒滑移启动模式,当满足 $0.707W > F_D + F_f$ 时,泥沙颗粒便在鳃片的长边滑动;当 $0.01\text{ mm} \leq d \leq 0.035\text{ mm}$ 时,泥沙有效重力为 $8.48 \times 10^{-12} \sim 3.63 \times 10^{-10}\text{ N}$,鳃片上表面的泥沙颗粒会在有效重力作用下克服阻力,在鳃片上表面滑动至泥沙通道中,对于鳃片2、3、4、5的上表面而言,

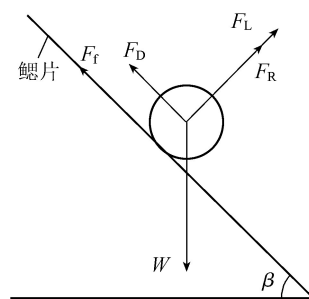


图9 泥沙颗粒受力状态

因同时受到泥沙通道中水流的冲击影响,从而流场与鳃片1上表面的有所不同;当 $d=0.0001\text{ mm}$ 时,泥沙有效重力为 $8.48 \times 10^{-18}\text{ N}$,其所受有效重力的大小与其他泥沙粒径不在同一个量级上,故受流场的影响最大,鳃片上表面的泥沙颗粒,由于有效重力很小,此时上举力 F_L 占主导地位,同时泥沙通道及清水通道中的水流对小粒径的运动影响很大,才导致该粒径下鳃

片上表面的流速矢量分布规律与其他泥沙颗粒不同。根据连续原理^[2,9]可知,不同泥沙粒径下鳃片下表面的流场与鳃片上表面的相反。

3.2 z 方向各断面的流速矢量分布

当计算沉降时间为 400 s 时,不同泥沙粒径下 z 方向各断面的流速矢量分布如图 10 ~ 12 所示。当 $d=0.035\text{ mm}$ 和 $d=0.01\text{ mm}$ 时, $z=0.5\text{ cm}$ 断面(清水通道断面)、 $z=2.5\text{ cm}$ 断面(分离鳃宽方向的中间断面)、 $z=4.5\text{ cm}$ 断面(泥沙下沉通道断面)相应的流速分布规律均相同。由图 10 可知,当 $d=0.035\text{ mm}$ 和 $d=0.01\text{ mm}$ 时,各鳃片下表面的水流沿着各自鳃片下表面向上运动,至鳃片高端汇入清水通道,再一同向上运动;由图 12 可知,当 $d=0.035\text{ mm}$ 和 $d=0.01\text{ mm}$ 时,各鳃片上表面的水流沿着各自鳃片上表面向下运动,至鳃片低端汇入泥沙通道,再一同向下运动,这与物理试验中所观测到的现象一致^[1-9],即在鳃片之间形成了横向异重流,在整个系统中形成了水沙沿分离鳃边壁的垂向异重流;而这两种现象在图 11 中当 $d=0.035\text{ mm}$ 和 $d=0.01\text{ mm}$ 得到了完整的体现,鳃片上下表面的水流、泥沙通道中的水流及清水通道中的水流互不干扰,各自按着

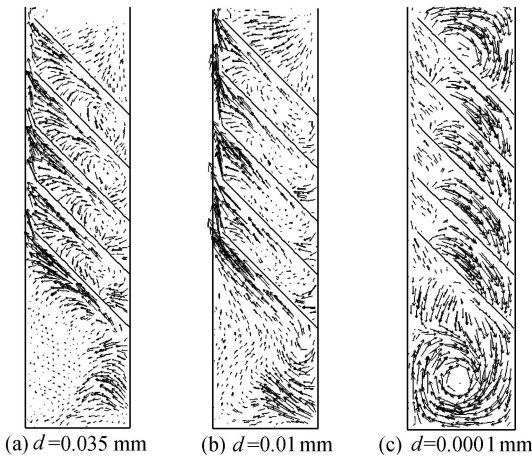


图 10 $z=0.5\text{ cm}$ 断面流速矢量分布

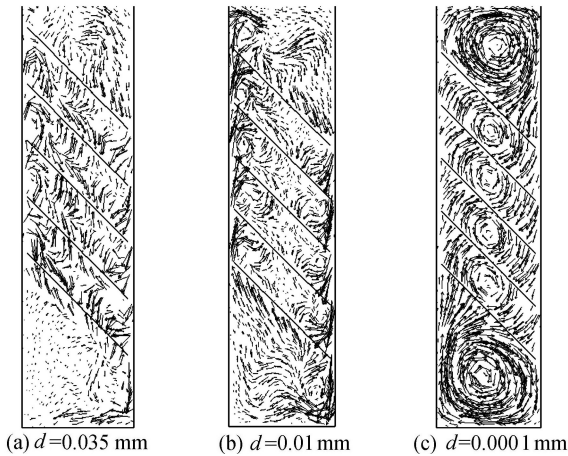


图 11 $z=2.5\text{ cm}$ 断面流速矢量分布

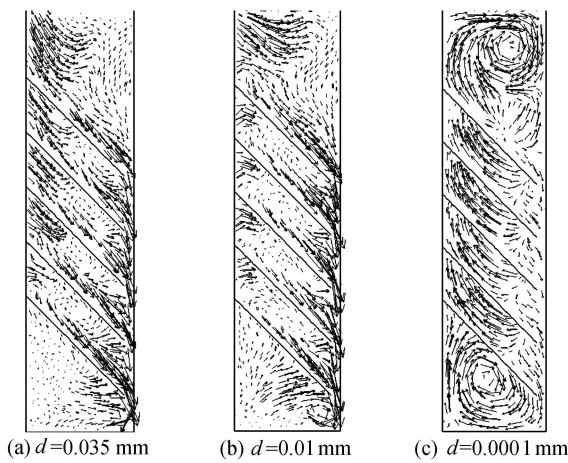


图 12 $z=4.5\text{ cm}$ 断面流速矢量分布

相应的运动轨迹流动,从而达到水沙分离的目的。当 $d=0.0001\text{ mm}$ 时, z 方向各断面的流速矢量分布规律与其他两个泥沙粒径的有所不同。由图 10 可知,当 $d=0.0001\text{ mm}$ 时,鳃片间大部分的水流斜向下运动,只有少部分水流沿着鳃片下表面向上运动后进入清水通道,分离鳃的右上角与左下角形成了顺时针的漩涡;由图 12 可知,当 $d=0.0001\text{ mm}$ 时,鳃片间大部分的水流斜向上运动,只有少部分水流沿着鳃片上表面向下运动后进入泥沙通道,分离鳃的右上角与左下角也形成了顺时针的漩涡,而这两种现象在图 11 中当 $d=0.0001\text{ mm}$ 时完全体现,相邻鳃片间的水流完全混合,并形成了 4 个顺时针的封闭的漩涡,同时在分离鳃的右上角与左下角也形成了顺时针的漩涡,此时水沙不能从分离鳃中分离出来。

3.3 y 方向各断面的平均含沙量分布

图 13 为不同泥沙粒径下分离鳃 y 方向(高度方向)各监测断面的平均含沙量的分布特性。由图 13 可知:①当 $d=0.0001\text{ mm}$ 时,平均含沙量的分布规律与 $0.005\text{ mm} \leq d \leq 0.035\text{ mm}$ 时有所不同,平均含沙量随时间的增大而保持不变,即为一条平行于时间轴的直线。② $y=5\text{ cm}$ 与 $y=15\text{ cm}$ 断面靠近分离鳃的底端,当 $0.005\text{ mm} \leq d \leq 0.035\text{ mm}$ 时,平均含沙量随时间的变化关系与 $y=25\text{ cm}$ 、 $y=35\text{ cm}$ 两个段面有所不同,先随时间的增大而增大,后随时间的增大而减小, y 值越小(越靠近分离鳃底端)水沙分离效果越明显,这是因为上面的泥沙沉降到底部所引起的;但不同泥沙粒径下平均含沙量随时间的增大或减小的幅度不同,泥沙粒径越大,平均含沙量随时间的变化幅度就越大,说明泥沙沉降的也就越快,从而分离鳃的沉淀效率也就越高。当 $0.005\text{ mm} \leq d \leq 0.035\text{ mm}$ 时, $y=25\text{ cm}$ 与 $y=35\text{ cm}$ 两个断面上的平均含沙量随时间变化规律相同,均随着时间的延长而减小,但不同泥沙粒径下平均含沙量减小的幅度

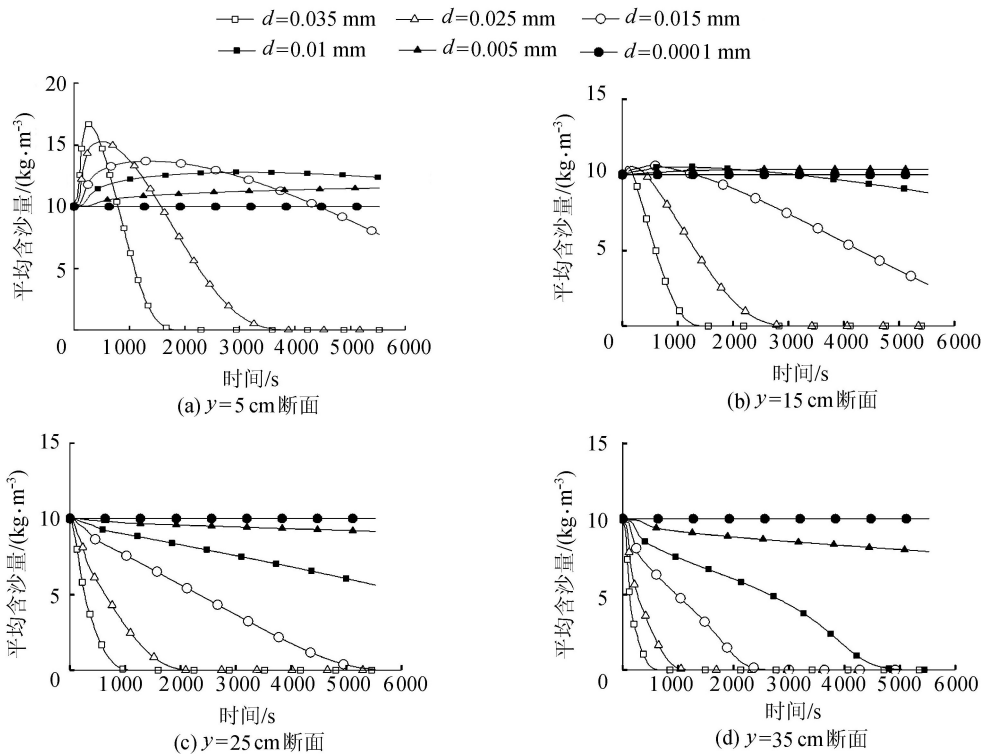


图 13 y 方向各断面的平均含沙量分布

不同,泥沙粒径越大,平均含沙量随时间的减小幅度就越大,同一时间下,平均含沙量就越小,即水沙分离效果就越好,当时间为 1000 s、 $d=0.005$ mm 时平均含沙量为 9.18 kg/m^3 ,而当 $d=0.035$ mm 时,平均含沙量几乎为零,如图 13(d) 所示。

3.4 不同泥沙粒径的去除率分布

图 14 为某一时间 y 方向不同断面、不同粒径的去除率分布,去除率是判断分离鳃水沙分离效果好坏的一个重要参数,其表达式为

$$\eta = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100\% \quad (13)$$

式中: η 为去除率,%; S_1 为初始时刻某断面的浑水含沙量, kg/m^3 ; S_2 为沉降到某时刻该断面的平均含沙量, kg/m^3 。当 $y=15$ cm 断面的去除率不小于

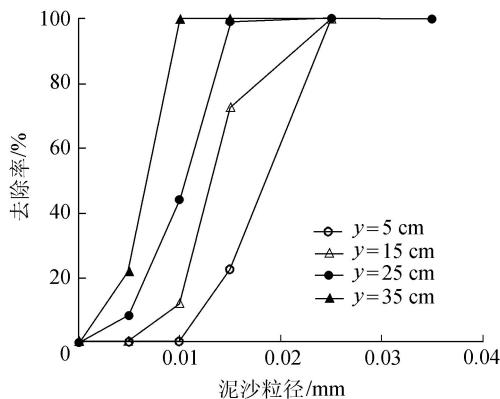


图 14 y 方向各断面不同泥沙粒径的去除率分布

70% 时,可认为分离鳃的水沙分离效果最好,说明该断面以上的其他断面去除率必定大于 70%,甚至靠近分离鳃顶端的断面可达到 100%,即 $y=15$ cm 断面以上的高含沙浑水已经成为低含沙的浑水;反之水沙分离效果则一般。

从图 14 可知:① $y=25$ cm 与 $y=35$ cm 两个断面的去除率随着泥沙粒径的增大而增大,当去除率达到 100% 时,表明分离鳃中的水沙分离完全; $y=5$ cm 与 $y=15$ cm 两个断面因靠近分离鳃的下端,去除率先随泥沙粒径的增大而保持不变,都为零,后随泥沙粒径的增大而增大,当水沙分离完全时,又保持不变。②当 $0.0001 \text{ mm} \leq d < 0.005 \text{ mm}$ 时,4 个不同断面的去除率都在 23% 以下,且 $d=0.0001$ mm 时的去除率全为零,说明分离鳃不能处理这种粒径的泥沙;当 $0.005 \text{ mm} \leq d < 0.015 \text{ mm}$ 时,在同一粒径下, y 越大去除率越高,即越靠近分离鳃的上端,其水沙分离效果就越好,就越容易获得清水,分离鳃处理这样的泥沙效果一般;当 $0.015 \text{ mm} \leq d \leq 0.035 \text{ mm}$ 时,在同一粒径下, y 越大去除率就越高或为 100%,且在同一断面上相对于其他泥沙粒径去除率要大很多,说明分离鳃处理这类泥沙效果最好。

4 结 论

a. 在同一鳃片上,当 $0.005 \text{ mm} \leq d \leq 0.035 \text{ mm}$ 时,鳃片上表面的流速分布规律一致,同样鳃片下表面的流速分布规律也一致;当 $d=0.0001$ mm 时,鳃

片上、下表面的流速分布规律则与 $0.005\text{ mm} \leq d \leq 0.035\text{ mm}$ 时有所不同。当 $0.0001\text{ mm} \leq d \leq 0.035\text{ mm}$ 时,不同鳃片的流速分布规律有所不同,这与鳃片在分离鳃中的位置有关。

b. 当 $0.005\text{ mm} \leq d \leq 0.035\text{ mm}$ 时, $z=0.5\text{ cm}$ 断面、 $z=2.5\text{ cm}$ 断面和 $z=4.5\text{ cm}$ 断面相应的流速分布规律均相同;当 $d=0.0001\text{ mm}$ 时, z 方向这3个断面的流速分布规律则与之不同。

c. 当 $0.015\text{ mm} \leq d \leq 0.035\text{ mm}$ 时,分离鳃处理泥沙效果最好。

参考文献:

- [1] 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. (QIU Xiuyun, GONG Shouyuan, YAN Yaocheng, et al. The research on a new separator device for water-sediment [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2007, 30(1):68-70. (in Chinese))
- [2] 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. (ZHU Chao, QIU Xiuyun, YAN Yaocheng. Analysis of mechanism of vertical-component density flow water-sediment separation device [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2009, 29(5):20-23. (in Chinese))
- [3] 陶洪飞,邱秀云,何照青,等.含沙量对分离鳃的水沙分离影响试验[J].水电能源科学,2013,31(7):93-95. (TAO Hongfei, QIU Xiuyun, HE Zhaoqing, et al. Sediment concentration on water-sediment separation effect test of separation device [J]. Water Resources and Power, 2013, 31(7):93-95. (in Chinese))
- [4] 朱超,邱秀云,刘艳.垂向异重流式水沙分离鳃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. (ZHU Chao, QIU Xiuyun, LIU Yan. Effects of gill-piece pattern of vertical-component density flow water-sediment separation device on water sand separation [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2008, 31(6):72-75. (in Chinese))
- [5] 陶洪飞,邱秀云,李卫鹏,等.分离鳃最优鳃片间距的静水沉降试验[J].水利水电科技进展,2013,33(4):49-53. (TAO Hongfei, QIU Xiuyun, LI Weipeng, et al. The static water settlement test of optimal gill piece spacing in gill piece separation device [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2013, 33(4):49-53. (in Chinese))
- [6] 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. (ZHANG Xiang, QIU Xiuyun, LI Lin, et al. A study on integrated experiment in dynamic water of

separation device with vertical density flow [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2010, 33(4):359-362. (in Chinese))

- [7] 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. (ZHANG Xiang, QIU Xiuyun, LI Lin, et al. Integration experiments of vertical-component density flow water-sediment separation device in still water. Hydro-Science and Engineering, 2011(2):89-93. (in Chinese))
- [8] 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. (YAN Yaocheng, QIU Xiuyun, ZHANG Xiang, et al. Mechanical analysis of sediment motion path and accelerated slip on two-phase flow separation device [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(5):27-29. (in Chinese))
- [9] 罗菲.两相流分离鳃的水沙流场数值模拟[D].新疆:新疆农业大学,2011.
- [10] 赵丽娜,邱秀云,陈铂,等.两相流水沙分离鳃流场的PIV测试及分析[J].新疆农业大学学报,2012,35(2):144-148. (ZHAO Lina, QIU Xiuyun, CHEN Bo, et al. Test and analysis on flow field in a two-phase flow water-sediment separation device by piv techniques [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2012, 35(2):144-148. (in Chinese))
- [11] 陶洪飞,邱秀云,郝永志,等.两种新型分离鳃沉淀池沉淀试验及沉降效果研究[J].水电能源科学,2012,30(8):132-135. (TAO Hongfei, QIU Xiuyun, HAO Yongzhi, et al. Experimental research of two new sedimentation tanks [J]. water resources and power, 2012, 30(8):132-135. (in Chinese))
- [12] 陶洪飞,邱秀云,徐志宗,等.敞开式分离鳃沉淀池试验[J].水利水电科技进展,2012,32(5):24-28. (TAO Hongfei, QIU Xiuyun, XU Zhizong, et al. An experiment of separation device in open sedimentation tank [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(5):24-28. (in Chinese))
- [13] 陶洪飞,邱秀云,赵丽娜,等.水沙分离鳃内部流场数值模拟与验证[J].农业工程学报,2013,29(17):38-46. (TAO Hongfei, QIU Xiuyun, ZHAO Lina, et al. Numerical simulation and PIV display of internal flow field in gill-piece separation device [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(17):38-46. (in Chinese))

(收稿日期:2013-06-27 编辑:周红梅)

