DOI: 10. 14042/j. cnki. 32. 1309. 2020. 06. 012

# 悬板开孔对排沙漏斗流场特性的影响

### 李 琳,王平圆,吴洋锋,侯 杰

(新疆农业大学水利与土木工程学院,新疆 乌鲁木齐 830052)

**摘要:**排沙漏斗的水沙分离性能取决于其流场特性,为了弄清楚悬板开孔对流场特性的影响,利用粒子图像测速 技术和数值模拟方法,分别对悬板溢流段和非溢流段同时均匀布孔、仅在非溢流段布孔和无孔时的排沙漏斗流场 特性开展研究。结果表明:① 布孔位置不影响涡流性质但影响其强度,均匀布孔时涡流强度最小,不利于水沙离 心分离;② 无孔和仅在非溢流段布孔时的流场特性有利于泥沙径向输移、沉降和排出,均匀布孔径向速度和二次 流流速减小不利于泥沙输移和排出;③ 仅在悬板非溢流段布孔时悬板表面速度大于其他方案,泥沙不易淤积于悬 板。为减少悬板上的泥沙淤积量且同时要保证较高的泥沙截除率时可采用仅在悬板非溢流段布孔的方案优化悬板 体型。

在西北内陆地区的多沙河流域,常常需要在灌区引水干渠、水库、水电站上游修建二级排沙设施对泥沙 进行预处理,以减少泥沙给农业生产和水利工程带来的危害<sup>[1]</sup>。排沙漏斗作为二级泥沙处理设施以其截沙 率高、耗水量小的特点被广泛应用于多泥沙河流的引水工程和水电站工程<sup>[2]</sup>。近年来有工程实践表明,处 理高含沙特别是含极细沙水流的排沙漏斗工程因悬板上泥沙淤积量超过设计值而引发悬板塌落破坏事故,致 使排沙漏斗停止运行<sup>[3]</sup>。悬板是排沙漏斗成功应用于泥沙处理的关键构件<sup>[4]</sup>,优化悬板体型,有效解决悬 板上泥沙淤积超载,同时保证泥沙截除率是排沙漏斗技术推广应用中亟待解决的技术难题。

早在 20 世纪 50 年代, Salakhov<sup>[5]</sup>对排沙漏斗就进行了开拓性研究,提出了设计基本原则,但由于问题 的复杂性,相关研究一直延续不断。国内外学者以提高排沙效率、降低排沙耗水率为目标,针对排沙漏斗结 构尺寸与水力要素之间的相关关系开展了大量试验研究,通过研究获得了泥沙截除效率与进流流量<sup>[6]</sup>、漏 斗室直径、深度<sup>[7]</sup>、排沙底孔孔径和泥沙性质等参数有关<sup>[8]</sup>。为揭示排沙漏斗的水沙分离机理, Chapokpour 等<sup>[9]</sup>采用激光多普勒测速仪(Laser Doppler Anemometry, LDA)和声学多普勒流速仪(Acoustic Doppler Velocimetry, ADV)对排沙漏斗的二维流场进行了测试,分析了排沙漏斗的时均流特性和紊流特性及其对输沙的影 响。肖柏青和戎贵文<sup>[10]</sup>采用雷诺应力模型和流体体积函数(Volume of Fluid, VOF)数值方法模拟了排沙漏斗 内的水气两相流,揭示了排沙漏斗内的二次流对水沙分离和水流紊动特性有显著影响,认为二次流是排沙漏 斗截沙效果好的关键;Huang等<sup>[11]</sup>利用 Flow-3D 软件模拟了环流室内的流速分布,得到了空气涡震荡的存 在,在流速高的区域尤为明显。目前已公开发表的研究成果主要是围绕传统排沙漏斗流场特性及其对水沙分 离机理的影响开展的相关研究,关于悬板体型优化及其体型对排沙漏斗流场特性和泥沙输移运动的影响研究 鲜见报道。为解决实际工程中出现的悬板塌落破坏问题,笔者提出了在悬板上布置扇环形孔口的方法优化悬 板体型,减少泥沙淤积和悬板自重,该方法目前已应用于新疆喀什一级电站排沙漏斗工程。由于排沙漏斗涉 及复杂的流体、固体颗粒和气体三相耦合的螺旋流动,悬板作为流场的边界条件其体型改变势必会影响其内

网络出版地址: http: //kns.cnki.net/kcms/detail/32.1309.P.20200522.1617.002.html 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52069028); 新疆自治区高校计划项目(XJEDU2018I010) 作者简介: 李琳(1979—), 女,山东青岛人,教授,博士,主要从事水力学及河流动力学方面研究。 E-mail: lilin\_xjau@163.com

收稿日期: 2019-09-27; 网络出版日期: 2020-05-25

各相的运动特性,但其影响机理尚未得到充分认识,因此,深入开展悬板开孔及其开孔位置不同时排沙漏斗 流场特性的基础研究十分必要。

本文采用粒子图像测速技术(Particle Image Velocimetry, PIV)<sup>[12]</sup>量测悬板无孔口时的排沙漏斗速度场, 应用实测数据验证紊流模型及其经验参数<sup>[13]</sup>,对悬板开孔位置不同时的排沙漏斗水气两相三维流场进行模 拟,探明悬板开孔对流场特性和泥沙沉降输移的影响机理,以获得较优的悬板开孔方案,为优化排沙漏斗工 程设计提供依据和参考。

## 1 试验装置及工况

试验采用有机玻璃制作排沙漏斗模型,有机玻璃厚度为3 mm,模型直径为220 mm,进水矩形涵洞高度 8.8 mm,宽44 mm,漏斗直径220 mm,锥底坡度1:5,底孔直径5.5 mm,悬板置于进水涵洞上方,悬板高 度为23.25 mm,宽度为44 mm,长度为漏斗半周长,90°圆心角对应区域为悬板的溢流区,其余区域为悬板 的非溢流区。为了补偿圆柱体和圆锥体壁面对片光造成反射使进入装置待拍摄区域的光路损失,在排沙漏斗 模型外围制作了方形透明有机玻璃容器,拍摄过程中其内装满水,保证工作介质相同。模型装置如图1 所示。



#### 图 1 排沙漏斗试验模型

Fig. 1 Sketch of a vortex settling basin model

试验采用北京尚水信息技术股份有限公司自主研发的 PIV 测速系统,该系统由同步控制器和电荷耦合器件(Charge Coupled Device, CCD)采集相机、图像采集和分析系统4个部分组成。其中光源为连续激光器,激光功率5W;激光器波长532nm;CCD 相机最小帧跨时间25ms,捕捉范围为40cm×30cm,最大采集频率为400Hz,分辨率最大为2320×1726像素,采集速率400帧/s,像素尺寸7μm,焦距28mm;PIV采集的图像样本容积为12T,样本容积满足试验精度要求。同步控制器用于精确控制两个相机的采集频率和曝光时间。光源组件包括连续激光器和棱镜两部分,棱镜采用带机械件的60°鲍威尔棱镜。选用 PIV 专用示踪粒子,主要成分为 SiO<sub>2</sub>,粒径约为8~12um,密度约为1.1g/cm<sup>3</sup>。试验中水箱内示踪粒子浓度为8 mg/L,水流由38W供水泵通过矩形进水涵洞进入排沙漏斗中,随后由溢流口和排沙底孔排出再次进入水箱,形成自循环系统。

漏斗进流量 Q = 0.079 L/s, 排沙耗水率为 14.8%, 溢流流量为 85.2%。在漏斗室内布置水平测试面z =

-8 mm、10 mm、24 mm, 垂直测试面 90°和 270°。

根据 PIV 系统中 CCD 相机的像素大小,把相机镜头与被拍摄的面之间的距离控制在 60 cm 左右,然后 将激光器产生的光束经透镜散射后形成厚度约1 mm 的片光源入射到流场待测试面,CCD 摄像机以垂直片光 源的方向对准待测试面,通过装置内示踪粒子对光的散射作用,记录下 2 次脉冲激光曝光时粒子的图像,形 成2 幅 PIV 底片(即1 对相同待测试面不同时刻的图片),底片上记录的是整个待测试面的粒子图像。采用图 像处理技术将所得图像分成许多很小的区域(称为查问区),使用自相关或互相关统计技术求取查问区内粒 子位移的大小和方向,同时脉冲间隔时间已设定,测试面速度矢量就可以求出。

## 2 数学模型

本文采用 Ansys Fluent 软件中的大涡模型和 VOF 方法模拟排沙漏斗内的水气两相三维流场。模型求解采 用有限体积法离散控制方程,压力-速度的耦合求解采用 SIMPLE 算法。时间项的离散采用二阶隐式格式, 对流项的离散采用具有三阶精度的二阶迎风插值 QUICK 格式。

模型计算区域被水和空气所充满,计算中设定水为主相,密度设为1000 kg/m<sup>3</sup>,空气为次相,密度为1.225 kg/m<sup>3</sup>。进水口采用速度进口边界,速度大小与物理模型试验一致,为0.2 m/s,方向为进水涵洞断面法线方向;上口与大气连通,设为压力进口,压强大小与大气压相同,为1.013 kPa;出口边界采用压力出口,出口分别为溢流出口和排沙底孔出口,压强大小与大气压一致;壁面采用无滑移边界,近壁处采用标准壁面函数进行修正。

图 2 所示为排沙漏斗悬板的 2 种布孔方案。将图 1 所示的悬板不开孔的排沙漏斗命名为方案 1。图 2(a) 所示的方案 2 是仅在悬板的非溢流段布置孔口,图 2(b)所示的方案 3 是在悬板的溢流段和非溢流段均布置 孔口。两方案中孔口大小、形状和间距均相同,自悬板始端(靠近进水涵洞一端)起每间隔 10°圆心角开孔, 其中扇环的圆心角为 10°,两排扇环形孔口内径分别为 72 mm 和 92 mm,外径分别为 82 mm 和 102 mm。



图 2 悬板孔口尺寸及布置方案

Fig. 2 Layout plan of the positions and sizes of openings on the deflector

## 3 结果及分析

#### 3.1 PIV 试验结果及数学模型验证

图 3 为方案 1 排沙漏斗中典型断面的 PIV 实测值与数值模拟值对比。图 3(a)、图 3(b)分别为典型断面

中交线 x =0 上各点的切向和径向速度对比图。图中 r/R 为测点所在径向位置与漏斗室半径的比值。由图可 以看出,切向流速的数值模拟结果和实测结果随径向位置的变化规律基本一致,但数值大小上存在偏差。特 别是 r/R >0.1 一侧的误差大于 r/R < -0.1 一侧,这主要是因为应用 PIV 拍摄水平面时是采用俯拍,而表层 水流经悬板表面的溢流,在有悬板一侧水面的波动降低了拍摄精度,而 r/R < -0.1 为无悬板一侧,水面波 动较小,实测值和模拟值相对误差较小。-0.1 < r/R < 0.1 为空气涡区,由于该区为空气涡区,PIV 无法拍摄 该区内的流速,故实测结果中没有这部分数据。由于排沙漏斗内为复杂的三维涡流,PIV 测量技术本身的精度 有限,加之数学模型对气液两相流的物理过程模拟精度有限,二者必然会存在一定误差,但是由于排沙漏斗内 切向速度为主要流速,其数值模拟和试验结果趋势基本一致,因此,本文采用了该数学模型进行后续计算。



图 3 PIV 实测值和数值模拟结果对比

Fig. 3 Comparisons of the simulations and the PIV measurements of tangential velocity, radial velocity and water streamline

由图 3(a)、图 3(b)还可以看出,漏斗柱体区和锥体区的切向速度沿径向分布规律不同。柱体区受空气 涡影响,在0<r/R<0.5的区域内涡流为为自由涡,切向速度随半径增大而减小。当0.5<r/R<0.8,空气 涡影响消失,受切向进流的影响强迫涡特征明显,切向速度随半径增大而增大。在0.8<r/R<1.0的区域, 受漏斗室壁面阻滞作用,切向速度减小至0。但在锥体区内涡流呈自由涡特征,空气涡旋转强度决定了锥体

区的螺旋流强度。由图 3(c)、图 3(d)可以看出,位于锥体区和柱体区的径向流速分布不同。各区域径向流速相较于切向速度而言明显较小。受底孔中心自由涡的影响,径向流速随半径增大而减小。如图 3(c)中,径向流速自 r/R = 0.25 处的 26 mm/s 减少至 r/R = 0.5 处的 8 mm/s;图 3(d)中由 r/R = 0 处的 56 mm/s 减少至 r/R = 0.5 处的 3 mm/s。锥体区内径向流速约为柱体区径向流速的 1.5~2 倍,这是因为漏斗近底板区有较强的二次流,受底坡二次流的影响径向流速大于柱体区。

方案1排沙漏斗中水平断面 z = 24 mm 流速云图及流线图的实测结果与数值模拟结果对比如图 3(e)、图 3(f)。图中的合速度  $V = \sqrt{u^2 + v^2}$ ,其中 u、v 为x、y 方向的速度。由图可以看出,实测与数值模拟结果基本吻合。排沙漏斗溢出水流的迹线主要有两部分:一部分是悬板末端开始沿排沙漏斗边墙逆时针运动 180° 后经悬板末端溢出;另一部分是进入漏斗室中心区域做螺旋运动后经溢流口溢出。悬板表面溢流的平面合速度(约为 0.17 m/s)明显大于无悬板区域(0.01 m/s)。

#### 3.2 数值模拟结果及分析

3.2.1 水平面流速

由于同一区域不同水平面的速度分布规律类似,文中仅以 z = -7 mm 和 z = 12 mm 为例对比方案 1—方 案 3 的柱体区和锥体区平面合速度规律,如图 4、图 5 所示。为便于比较悬板开孔位置对各区域流速的影响, 将平面划分为 6 个区域,仅在图 4 中示意各区域位置,以下各图未标示。1 区为悬板始端,2 区为悬板溢流 出口段,3 区为悬板末端,4 区为悬板所在圆环的剩余区域,5 区的面积随着 6 区空气涡影响面积的变化而 变化。

在锥体区内(见图4),方案2中1—5区的速度与方案1各区的速度较接近,但方案3的各区速度明显 小于方案1和方案2。方案3中1—5区的合速度平均值比方案1分别减小了18.6%、21.8%、26.8%、 23.5%、18.5%。在柱体区内(见图5),方案2和方案3的合速度较方案1明显减小。方案3中1—5区的合 速度比方案1分别减小了17.8%、20.4%、26%、16.7%、22.8%;而方案2中的1—5区的合速度比方案1 分别减少了约6%。从图4和图5还可以看出,方案3中合速度显著减小使漏斗中心的空气涡面积和强度显 著减弱,5区的自由涡切向流速减小,使悬浮在柱体区的细颗粒泥沙的离心分离效率降低,且因其粒径小又 不易沉降。因此,与方案1和方案2相比,方案3不利于水沙分离。从图6也可以看出,方案3的空气涡体 积减小显著,空气涡长度较短,这类涡在旋流中易摆动,不利于泥沙沉降。以上结果主要是由于方案3中悬 板的溢流区和非溢流区同时开孔,使得悬板维持半有压的调流作用减弱,水流自有压涵洞进入漏斗室后水流 沿垂向向上扩散,平面环流强度减小,而方案2仅在悬板非溢流区开孔,对漏斗室内旋流强度影响较小。







Fig. 6 Aircore in the vortex settling basins for different scenarios

图 7 为不同方案下溢流区的合速度云图及流线图(以平面 z = 24 mm 为例)。可以看出,方案 3 的溢流区 合速度除 3 区较方案 1 有所增加外,其他区域较方案 1 明显减小;方案 2 除 2、3 区有所增加外,其他区域 与方案 1 较接近。方案 3 的 1、2、4、5 区的合速度平均值较方案 1 分别减小了 17.5%、20.2%、16.5%、 21.5%;方案 2 的 1、4、5 区的合速度平均值较方案 1 分别减小了 5%。方案 1 中 3 区的合速度相较于其他 区域明显减小,随流溢出的细颗粒泥沙在该区(悬板末端)淤积的可能性远大于其他区域,而方案 2 和方案 3 中该区的合速度明显大于方案 1,泥沙在其上淤积的可能性降低。方案 3 中 2 区(即溢流口)速度明显小于方 案 1 和 2,随流溢出的泥沙因流速过低淤积于悬板的可能性较大。



Fig. 7 Flow velocity map and streamline diagram for different scenarios(z = 24 mm)

由图 7 还可以看出,排沙漏斗溢流区流线主要分为两部分:一部分是漏斗中心的螺旋状的流线,流体螺 旋运动多圈后受空气涡的影响向漏斗中心运动;另一部分是漏斗室边壁附近的圆周运动,流体旋转1周后受 溢流的影响向溢流口运动。此外,3个方案在2个区域内的流线疏密程度各不相同,方案1中螺旋流动区域 与圆周运动区域范围接近,方案2中参与螺旋运动的流线条数多于圆周运动的流线条数,由于螺旋线的末端 指向排沙底孔,进入螺旋流动区域的颗粒易被截除;而方案3中流线多以圆周运动为主,在漏斗内的停留时 间较短,流线末端指向溢流口使水沙通过溢流口溢出,不利于泥沙截除。

#### 3.2.2 垂直面流速

图 8 为不同方案在 0°~180°垂直断面的合速度矢量图。可以看出, x > 0 一侧, 各方案下悬板以上的溢流区域内受溢流出口影响 x 方向的速度水平向右指向溢流出口。悬板下方 0.08 m < x < 0.11 m 区域内均存在 一顺时针旋转的横轴涡流,该旋流的存在使悬板下方锥底上不易淤积泥沙。旋流的最大速度和范围基本相同,表明圆心角 60°对应的悬板区域(见图 2)开孔对进水涵洞出口的旋流强度影响较小。方案 2 和方案 3 中,在 0.06 m < x < 0.08 m 的区域内合速度方向指向悬板孔口,表明部分水流经孔口流出,势必会随流挟带部分 泥沙溢出。方案 1 中该区域水流 x 方向速度指向漏斗中心。



Fig. 8 Velocity vectors of center section(0°-180°) for different scenarios

由图 8 还可以看出: x < 0 一侧, 方案 1 中在漏斗室 -0.09 m < x < -0.04 m 的区域内有一横轴顺时针涡 流, 该涡流的作用延长了泥沙在漏斗中的停留时间, 但使锥体区的泥沙易发生二次悬浮, 部分水流挟沙进入 表层溢流区溢出, 降低截除率; 在 -0.11 m < x < -0.09 m 区域内水流沿逆时针方向旋转, 柱壁附近形成横 轴逆时针涡流; 在 -0.04 m < x < 0 的区域内, 合速度方向水平指向中心, 该区域内水流只沿径向输移, 无 垂向运动。方案 2 中, 柱壁附近的逆时针旋流范围增大, 有利于二次悬浮的泥沙再次沉降。在 -0.07 m < x < -0.04 m 的区域内, 靠近锥底局部区域合速度方向向上, 但向上的速度小于方案 1, 其他区域合速度大 小与方案 1 接近, 且该区内无横轴涡流, 大部分合速度方向水平指向漏斗中心, 水流以径向输移为主, 无垂 向运动, 泥沙被径向输移至空气涡影响区, 经螺旋流输运至排沙底孔排出。方案 3 中各个区域合速度都明显 小于方案 1 和方案 2, 在锥体区和柱体区的 -0.09 m < x < 0 m 范围内, 垂向速度均以向上为主, 泥沙易悬浮 而不易沉降。由于方案 3 中空气涡影响范围小于方案 1 和方案 2, 使其周围的合速度明显小于方案 1 和方案 2, 水流径向输移泥沙作用小, 悬浮的泥沙很难进入螺旋流运。排沙漏斗中沉降至锥体底板上的颗粒主要依 靠二次流输运至排沙底孔,而方案3中的二次流流速是方案1和方案2的15%,致使锥体的泥沙淤积在锥底的可能性较大。由以上分析可知,悬板在非溢流区开孔时的流场特性更有利于排沙漏斗保持较高的截除率, 而溢流区和非溢流区同时开孔,其流场特性不利于泥沙离心分离和重力沉降,会降低排沙漏斗的水沙分离 效果。

## 4 结 论

本文采用 PIV 技术、紊流大涡模型和 VOF 方法,研究了排沙漏斗溢流悬板无孔和开孔位置不同时的流场 特性,得到以下结论:

(1) 悬板开孔和不开孔情况下排沙漏斗内均呈现强迫涡和自由涡组合的涡流性质。在悬板的溢流段和非 溢流段同时布孔时漏斗室的旋流强度较不开孔方案显著减弱,不利于水沙旋流分离,只在悬板非溢流段开孔 时旋流强度变化较小。

(2) 仅在悬板非溢流段开孔时悬板表面最不易淤积泥沙,而溢流段和非溢流区同时开孔时表面流速低泥 沙易沿程淤积,悬板不开孔时在非溢流区易淤积。

(3) 悬板开孔后自由涡的范围和强度减小,溢流段和非溢流段均匀布孔时衰减最显著。悬板开孔位置对漏斗室有悬板一侧的流动特性影响较小,对无悬板一侧的垂向和径向速度影响较大,仅在非溢流区开孔时有利于泥沙径向输移,且锥体区的泥沙不易二次悬浮;而溢流区和非溢流区均布孔时不利于泥沙径向输移和沉降。

(4) 悬板非溢流段布孔对漏斗室锥底附近的二次流强度影响较小,但是均匀布孔时二次流流速显著减小 不利于底部泥沙输移排出。

#### 参考文献:

- [1] 孙东坡,刘明潇,王鹏涛,等. 双峰型非均匀沙推移运动特性及输移规律[J]. 水科学进展, 2015, 26(5):660-667.
  (SUN D P, LIU M X, WANG P T, et al. Movement characteristics and transport laws of the bimodal bed load[J]. Advances in Water Science, 2015, 26(5): 660-667. (in Chinese))
- [2] 周著, 邱秀云, 侯杰, 等. 漏斗式全沙排沙技术及其应用[J]. 水科学进展, 2001, 12(1): 95-98. (ZHOU Z, QIU X Y, HOU J, et al. The total sand flushing funnel and application[J]. Advances in Water Science, 2001, 12(1): 95-98. (in Chinese))
- [3] 韩晓荣. 泾惠渠排沙漏斗悬板事故原因分析及设计更改[J]. 陕西水利水电技术, 2008(1): 37-39. (HAN X R. Cause analysis and design change of suspended plate of sand funnel in Jinghui River [J]. Shaanxi Water Resources and Hydropower Technology, 2008(1): 37-39. (in Chinese))
- [4] PAUL T C, SAYAL S K, SAKHUJA V S, et al. Vortex-settling basin design considerations [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1991, 117(2): 172-189.
- [5] SALAKHOV F S. Rational designs and methods of hydraulic calculations of load-controlling water intake structures for mountain rivers[C]//Proceeding of 9th Congress on Irrigation and Drainage. Moscow: [s. n. ], 1975.
- [6] ATHAR M, KOTHYARI U C, GARDE R J. Sediment removal efficiency of vortex chamber type sediment extractor [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2002, 128(12): 1051-1059.
- [7] 詹钱登,杨致远,徐郁超,等.高桶式旋流漏斗排沙器的柱体区高度变化对泥沙去除效率影响之试验研究[J].农业工程 学报,2016,62(2):64-79.(ZHAN Q D, YANG Z Y, XU Y C, et al. Experimental study on the effect of the height change of the cylinder area of the high-barrel cyclone sand separator on the removal efficiency of sediment[J]. Journal of Chinese Agricultural Engineering, 2016, 62(2): 64-79.(in Chinese))
- [8] ANSARI M A, ATHAR M. Design parameters of vortex settling basin[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management, 2013, 166(5): 262-271.
- [9] CHAPOKPOUR J, FARHOUDI J, TOKALDANI E A. Turbulent flow measurement in vortex settling basin [J]. Journal of Energy

and Environment, 2011, 2(4): 382-389.

- [10] 肖柏青,戎贵文. 排沙漏斗流场特性与排沙机理研究[J]. 水动力学研究与进展: A 辑, 2016, 31(2): 232-238. (XIAO B Q, RONG G W. Study on flow field characteristics of vortex settling chamber and its sediment removal mechanism [J]. Chinese Journal of Hydrodynamics, 2016, 31(2): 232-238. (in Chinese))
- [11] HUANG T H, JAN C D, HSU Y C. Numerical simulations of water surface profiles and vortex structure in a vortex settling basin by using flow-3D [J]. Journal of Marine Science and Technology, 2017, 25(5): 531-542.
- [12] 陈槐,朱立俊,范红霞,等. 二维粒子图像测速实验中三维涡旋可测性分析[J]. 水科学进展, 2017, 28(5): 738-744.
  (CHEN H, ZHU L J, FAN H X, et al. Detection of 3-D vortex in the 2-D PIV experiment: analytical solution and application
  [J]. Advances in Water Science, 2017, 28(5): 738-744. (in Chinese))
- [13] 徐振山,陈永平,张长宽,等. 波流环境中射流的大涡数值模拟[J]. 水科学进展, 2014, 25(2):239-245. (XU Z S, CHEN Y P, ZHANG C K, et al. Large eddy simulation of a jet in wave-current environment [J]. Advances in Water Science, 2014, 25(2): 239-245. (in Chinese))

## Effects of the opening of the deflector on the flow characteristics in the vortex settling basin\*

LI Lin, WANG Pingyuan, WU Yangfeng, HOU Jie

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: The water and sediment separation performance of the Vortex Settling Basin (VSB) depends on the characteristics of the velocity field. To understand the influence of the opening of the deflector on the flow field, VSBs with the deflector partially perforated on the non-overflow area entirely perforated and without any openings were tested with Particle Image Velocimetry (PIV) and simulated with a large eddy turbulence model. The results showed that: ① The opening positions did not affect the vortex properties of the VSBs but did affect their strength. The swirl intensity of the entirely perforated VSB was the smallest, which made it difficult to extract sediment by centrifugal force. ② The VSBs without any openings were partially perorated helped the sediment to be transported along the radial direction, move down and be discharged, but the radial velocity and secondary flow in the entirely perforated VSB were reduced, which caused the sediment to be deposited on the floor. ③ The velocity on the partially perforated deflector was the greatest, which could prevent the sediment from depositing on the deflector. Therefore, to reduce the amount of particles deposited on the deflector of the VSB and to ensure a high sediment trapping efficiency, it is better to choose a deflector that is partially perforated on the non-overflow area.

Key words: vortex setting basin; particle image velocimetry; flow characteristics; experimental study; numerical simulation

<sup>\*</sup> The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 52069028).