

# 一种新型组合式泥沙旋流分离装置研究

李 艳

(江苏航运职业技术学院 船舶与海洋工程学院, 江苏 南通 226010)

**摘 要:** 主要介绍一种新型的组合式泥沙旋流分离装置的设计方案及工作原理。以 3 500 m<sup>3</sup> 耙吸挖泥船为例, 选取了旋流分离装置的尺寸进行了数值模拟, 得到旋流装置内部流场的情况, 证实了组合式泥沙旋流分离器进行固液分离的可行性, 为进一步的研究提供了理论依据。

**关键词:** 组合式泥沙旋流分离器; 数值模拟; 固液分离

**中图分类号:** TH16

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-9891(2020)4-0048-05

## 0 引言

耙吸式挖泥船是目前应用最广的一种挖泥船, 可用于航道拓宽、港池加深、陆域吹填等工程。在进行挖泥装舱施工时, 一般将泥泵从水底抽吸的泥沙水直接装入泥舱内, 然后通过泥舱内的溢流装置将含泥量少的上层水排出泥舱。整个溢流过程较长, 同时溢流排出的泥水也含有大量的泥沙, 既浪费了能源, 又对环境有不利影响。

从二十世纪六十年代开始, 水力旋流器被列为标准的固液分离设备。离心沉降作用是水力旋流器的主要工作原理, 它利用离心力场加速固体颗粒沉降, 达到固液的有效分离。水力旋流器具有结构简单、处理量大、分离效率高、操作方便、容易安装等优点, 被广泛应用于石油化工、采矿、食品、农业、环保等多个行业。

近年来有许多学者对水力旋流器内部流场的运动情况进行了数值模拟研究。孙磊等人研究了用于疏浚泥沙分离的水力旋流器的效率, 分析了不同颗粒直径与旋流器直径之间的关系, 为设备选型提供依据。<sup>[1]</sup>许研霞、Murthy 等人系统研究了水力旋流器的内部流场性能, 分析出结构参数及操作参数对流场的影响。<sup>[2]</sup>刘培坤等人进行了抛物线型旋流器和传统锥形旋流器在内部流场的稳定性和分离性能的比较研究。<sup>[3]</sup>杨博文等人研究了进口速度以及颗粒大小对其分离效率的影响。<sup>[4]</sup>应锐等人对复合型水力旋流器进行了优化研究, 分析了旋转栅结构对流场的影响。<sup>[5]</sup>王勇等人研究了水力旋流器内玉米淀粉颗粒的分离效能和分离过程, 对比分析进口流速、分流比和进料浓度变化对旋流器分离效率的影响及其变化规律, 考察不同粒径淀粉颗粒在旋流器内的体积分数分布。<sup>[6]</sup>聂小保等人研究了疏浚泥水性质、操作条件和结构形式等对疏浚泥水固液分离效率的影响。<sup>[7]</sup>王党飞等人研究了不同入口数量的旋流器, 分析了各种入口形式对旋流器的流场特性、湍动能、锥段切向速度以及分离性能的影响。<sup>[8]</sup>杨林等人研究了旋流器内部的复杂流动, 发现颗粒因受力情况不同, 导致分离特性和运动轨迹有所差别。<sup>[9]</sup>为了解决这些问题, 本文利用水力旋流器的工作原理, 设计出一种新型的组合式泥沙旋流分离装置, 并对该装置进行数值模拟, 验证其进行泥沙分离工作的可行性。

## 1 组合式泥沙旋流分离装置设计方案

### 1.1 水力旋流器工作原理

离心沉降作用是旋流分离设备的主要工作原理。在一定的压强作用之下, 由入口进入的泥浆沿着切向方向进入旋流分离器的内腔之后, 由于水和沙粒存在密度差, 受到不同的向心浮力、离心力以及流体阻力, 所以在旋流分离器内壁的限制下, 部分泥沙流一边向下一边向中心做着旋转运动, 形成了外旋流, 由于旋流

收稿日期: 2020-12-15

作者简介: 李艳(1981—)女, 江西抚州人, 江苏航运职业技术学院船舶与海洋工程学院讲师, 硕士。

分离器内部中心低压区的吸引以及分离器圆锥段的限制,内部的流体变为向上做旋转运动,形成了内旋流。随着流动半径的减小,压力能逐渐转变为流体的动能和其他的能量损失。沙粒在径向主要受到离心惯性力、向心浮力和流体阻力3个不同的力,促使不同密度不同粒径的沙粒在旋流分离器的径向上有序分布,并最终随着外旋流从底部被排出,或随内旋流从溢流口排出。

组合式泥沙旋流分离装置的工作原理是:泥泵将具有一定压强的泥浆泵入旋流器,通过旋流分离将具有较高浓度的泥浆分离进入沉沙口,加快泥浆沉淀速度;通过调节入口的进料速度,达到泥沙颗粒分级分离,通过管路将部分从旋流器中溢流出的清水注入高压水泵,实现清水循环使用,减少对环境的影响。

### 1.2 组合式泥沙旋流器分离装置结构组成

组合式泥沙旋流分离器是利用水力旋流器的原理将泥浆颗粒与泥水分离的装置。组合式水力旋流器组置于位于泥舱后部的装载箱,由两组旋流分离器组并联而成,每组又由若干个旋流分离器组成,其个数及尺寸可依据挖泥船的排泥量而定,每个旋流分离器包括入口段、圆柱段、圆锥段、溢流管、沉沙口。分离装置在装载箱处的进口连接高压泥泵,其溢流口的水流入装载箱上部空间并分成两路,一边通过管路进入高压水泵进行冲沙作业,一边将多余的水通过管路排至舷外。沉沙口分离出的高浓度泥沙装入装载箱下部,经由泥沙出口通过管路倒入泥舱。如图1、图2所示,装载箱姿态可调,便于不同粒径泥沙流入泥舱并装入冲水装置,防止出现泥沙阻塞。

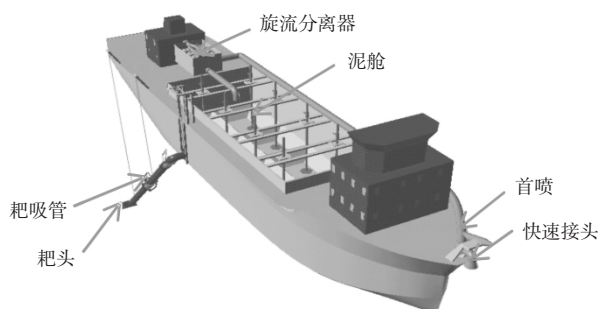


图1 耙吸式挖泥船

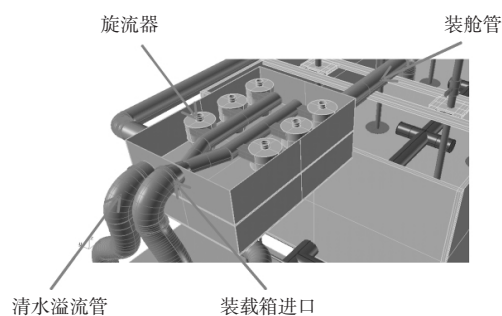


图2 组合式泥沙旋流分离器

### 1.3 组合式泥沙旋流器分离装置选型

关于3 500 m<sup>3</sup>耙吸挖泥船的组合式泥沙旋流分离装置的设计如图3所示。该装置的主要参数如下:入口为矩形,边长为150 mm;圆柱段直径为900 mm,长度为600 mm;圆锥段长度为1 500 mm;溢流管直径为210 mm,长度为500 mm,伸入柱体内长度为450 mm;沉沙口直径为180 mm。与三个旋流器连接的总管主要参数如下:直径为300 mm,长度为3 000 mm。旋流分离器组装载箱为一长4 500 mm、宽3 000 mm、高3 000 mm的箱体,其顶部设有泥沙入口,与旋流器两总管连接。装载箱由上下两部分组成:上部分为溢流箱,高度为1 850 mm;下部分为泥箱,高度为1 150 mm。

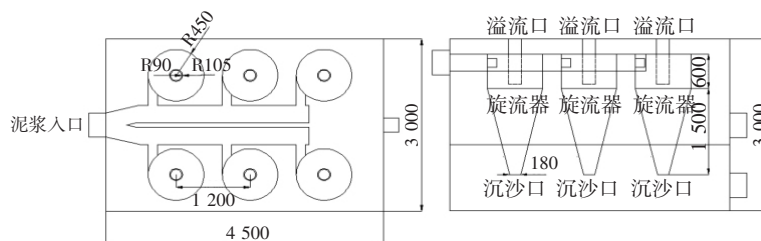


图3 旋流分离装置结构图

## 2 装载箱数值模拟

### 2.1 计算模型

由于组合式泥沙旋流分离器对称布置,计算时仅选用一组模型。其主要参数如下:入口为矩形,边长为15 mm;圆柱段直径为90 mm,长度为60 mm;圆锥段长度为150 mm;溢流管直径为21 mm,长度为50 mm,

伸入柱体内长度为 45 mm;沉沙口直径 18 mm。与三个旋流器连接的总管主要参数如下:直径为 30 mm,长度为 300 mm。

## 2.2 网格划分

网格质量是数值计算的关键。为了保证网格质量,模型划分成若干子区域,采用六面体结构网格。模型的计算域网格数目均为 37 万左右,包括 38 万多个节点。两组网格划分如图 4 所示。

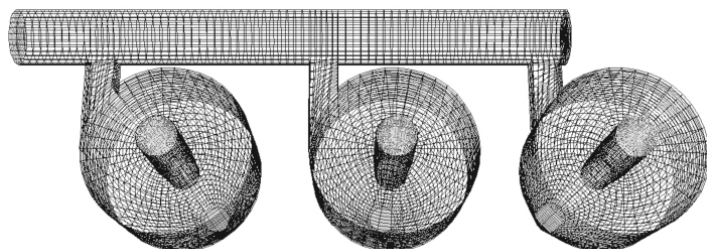


图 4 旋流器组网格划分图

## 2.3 数学模型及模拟方法

(1)数学模型。通过对旋转流动的研究,使 RNGk- $\epsilon$  模型适合处理低雷诺数、旋转度大的流动以及高应变率的流体。所以,本文将采用该模型进行数值计算。

(2)边界条件。边界条件是在求解域的边界上所求解的变量或其一阶导数随地点及时间变化的规律。入口:速度进口(velocity inlet),大小为 10.00 m/s;出口:压力出口(pressureoutlet),初始压力为 0 Pa;颗粒捕集口:压力出口(pressureoutlet),初始压力为 0 Pa;沙粒密度为 1 800 kg/m<sup>3</sup>。

(3)计算方法。本计算选用 Mixture 混合模型,湍流模型选用雷诺应力模型。壁面采用标准壁面函数,压力—速度耦合方式为 SIMPLEC,压力离散格式为 PRESTO!,其他控制方程的离散格式均采用 Second Order Upwind 格式。

## 2.4 结果分析

为了便于分析旋流器流场各处的压力、速度变化,选取轴截面( $y = 0$ )和不同横截面( $z = 45$  mm、0 mm、-50 mm、-100 mm)进行分析,其特征线位置如图 5 所示。

(1)速度分布。研究水力旋流器流场特性的重点是分析速度分布。速度分为切向和轴向,其中切向速度对水力旋流器的分离效率影响较大,切向速度越大,分离效果越好;轴向速度直接影响流体在水力旋流器的运动时间,时间长更利于固液分离。

图 6 为纵截面上的速度矢量图。从图中可以看出,水在进入到旋流器后,开始向下运动,形成外旋流,接近底部后再向上流动,形成内旋流。从图 7 可知,横截面上的速度对称性较好,等速线基本上是圆环状,且越往下速度分布的对称型越好,总体而言,分离器内部旋流是比较对称的。

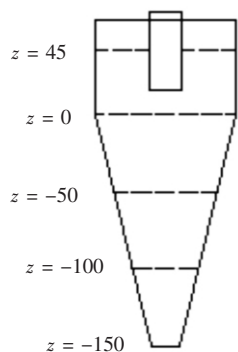


图 5 横截面位置示意图

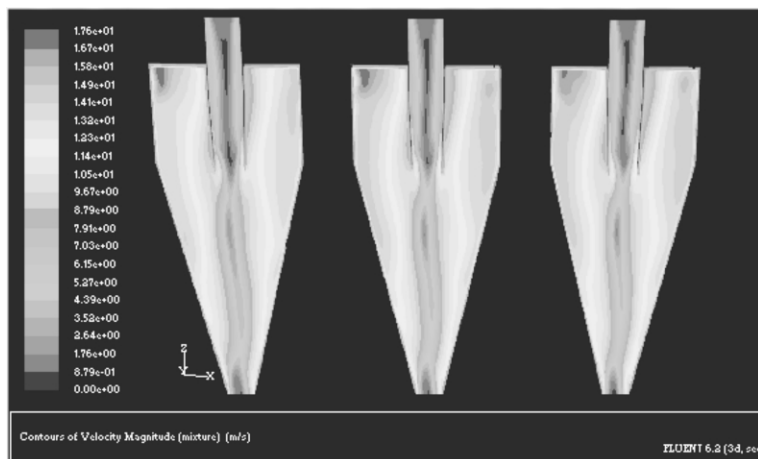


图 6 纵截面速度矢量

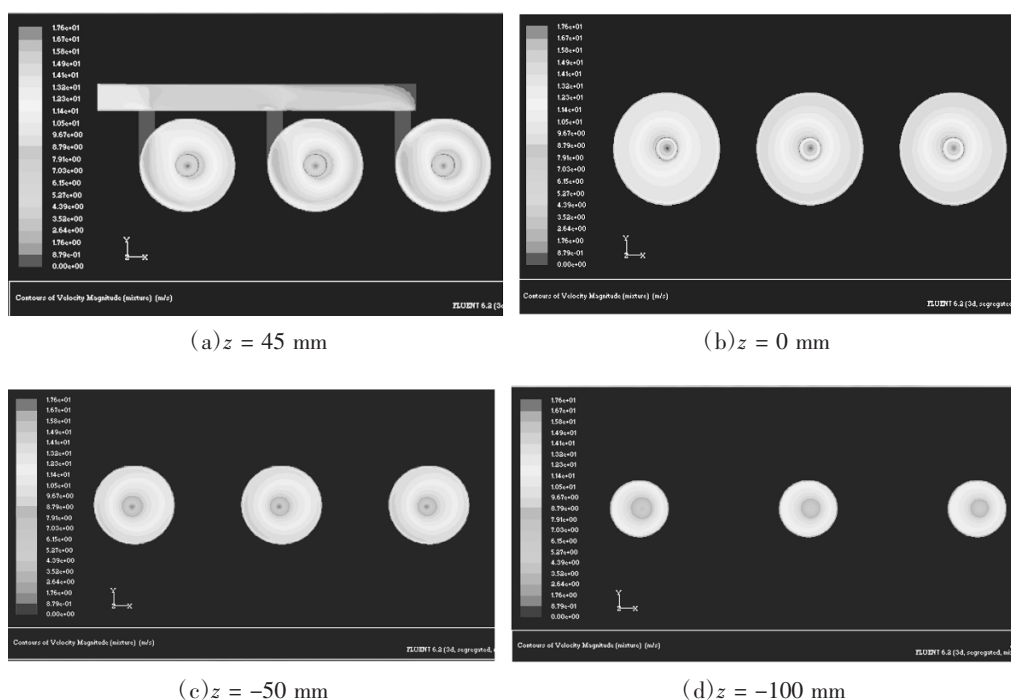


图7 各横截面速度分布图

图8为纵截面上的轴向速度分布图。从图中可以看出,流场中内旋流轴向速度方向向上,而外旋流的轴向速度方向向下,内外旋流轴向速度相反。从轮廓可以看出,水力旋流器内旋流占据了一定的空间,溢流流量大,分股比也大。

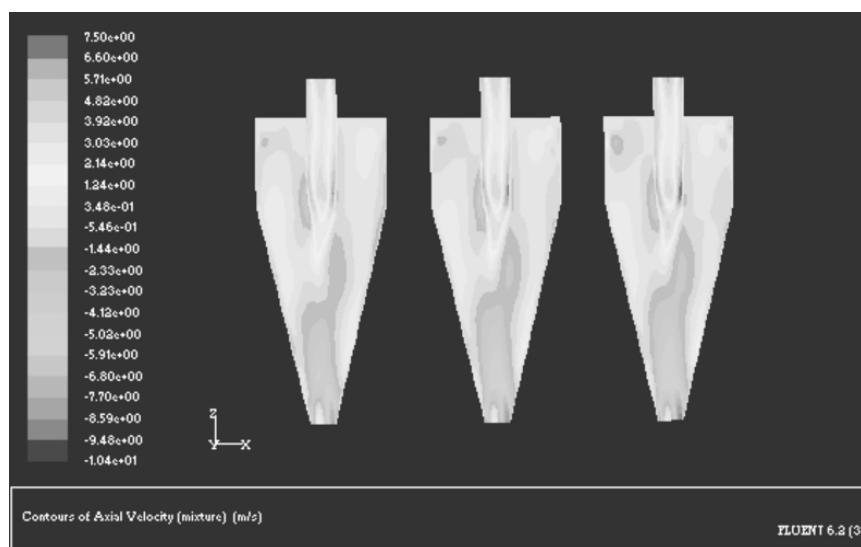


图8 纵截面轴向速度分布图

(2)压力分布。水力旋流器的压力分布是一项重要参数,直接影响分级效率,压力损失的大小影响着进料泵功率和电能损耗。水力旋流器中的压力分布包括径向分布与轴向分布。由于不计旋流器计算重力的影响,故分析重点在于沿径向的压力分布。

图9为纵截面上的压力分布图。从图中可以看出,壁面的压力值大,轴心处压力最小,同一轴向位置压力沿着径向逐渐降低,水力旋流器入口附近的压力最大。当流场压力越高,水力旋流器的离心力场强度越大,这样能提高固液混合物中颗粒的分离效果。



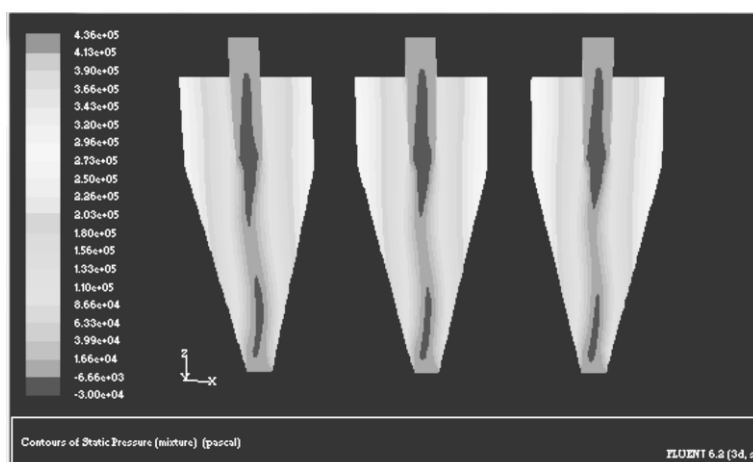


图9 纵截面压力分布图

### 3 结束语

耙吸挖泥船泥沙分级装舱系统采用旋流器装载箱进行泥沙分离,具有提高泥沙分离效率、环保节能的特点;配备装载箱调节装置,能有效避免在箱内泥沙沉积的问题,提高了泥舱的装载效率;配备了回水管路,溢流水的循环利用提高了节能环保效应;运用三维设计技术进行总布置设计,各类挖泥施工机械布置合理,因此,本装置具有广阔的应用前景。

### 参考文献:

- [1]孙磊,余龙,谭家华.一种用于疏浚泥沙分离的水力旋流器效率分析[J].中国港湾建设,2007(5):26-28.
- [2]许妍霞,唐波,宋兴福,等.水力旋流器内部流场模拟分析与 PIV 验证[J].华东理工大学学报:自然科学版,2013(1):1-7.
- [3]刘培坤,姜兰越,杨兴华,等.抛物线型旋流器分离特性的数值模拟和试验研究[J].流体机械,2015(10):1-6.
- [4]杨博文,郑小涛,周瀚浩文,等.旋流分离器液固分离数值模拟研究[J].化学工程与装备,2017(2):16-18.
- [5]应锐,喻俊志,王卫兵,等.细颗粒级复合型水力旋流器结构及工艺参数的优化研究[J].机械工程学报,2017(2):124-133.
- [6]王勇,曾涛,徐银香,等.水力旋流器固液分离特性的数值模拟与优化[J].食品与机械,2018(1):78-83.
- [7]聂小保,徐超,易青明,等.水力旋流器原位处理疏浚泥水研究[J].中国给水排水,2018(11):66-72.
- [8]王党飞,王国荣,钟林,等.入口数量对旋流器分离天然气水合物浆体流场特性和分离性能的影响[J].中国造船,2019(4):161-168.
- [9]杨林,唐美玲,曲洋.基于颗粒运动行为的分级旋流器数值模拟分析[J].沈阳工程学院学报:自然科学版,2020(4):22-25.

(责任编辑:张 利)

## Study on a New Type of Combined Sediment Cyclone Separator

LI Yan

(School of Naval Architecture and Ocean Engineering, Jiangsu Shipping College, Nantong 226010, China)

**Abstract:** The design scheme and working principle of a new type of combined sediment cyclone separator are mainly introduced. Taking a 3 500 m<sup>3</sup> trailing suction dredger as an example, the size of the cyclone separator is selected for numerical simulation, and the internal flow field of the cyclone device is obtained, which confirms the feasibility of solid-liquid separation of the combined sediment cyclone separator and provides theoretical basis for further study.

**Key words:** combined sediment cyclone separator; numerical simulation; solid-liquid separation