

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2022.04.006

深海多金属结核流态化采集头流场参数匹配

张东宽¹, 官雷¹, 曹华德², 夏建新¹

(1.中央民族大学环境系, 北京 100081; 2.中国地质大学(北京)海洋学院, 北京 100083)

摘要: 深海蕴藏着丰富的矿产资源, 其中, 多金属结核可能成为未来金属资源的有效保障。开发多金属结核的难点之一就是如何将矿石从沉积物中高效绿色采集到采矿车上, 水力采集方式是目前研究的热点。基于双排喷嘴射流的水力式集矿装置因具有结构简单、可靠性高及能耗较低等优点, 受到广泛关注。利用流体仿真分析软件对不同射流角度、不同抽吸速度的采集头内部流场的速度场进行数值模拟与参数匹配研究, 采用标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型, 以采集头有效作用区上喷流速度的平均值和离散系数来评价采集头流场效果。结果表明, 采集头采用前后射流与水平方向呈 70° 角、前排喷嘴射流速度 10 m/s、后排喷嘴射流速度 15 m/s、抽吸速度为 5 m/s 等参数时, 内部流场效果相对较好。

关键词: 深海多金属结核; 水力式采集; 数值模拟; 参数匹配

中图分类号: TD857 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-2029 (2022) 04-0053-08

深海多金属结核资源是我国未来可持续发展的战略保障, 开发深海资源已成为必然选择。我国关于深海多金属结核采集技术的研究还不够成熟, 采集头参数匹配不合理, 导致采集效率低, 试验中屡出问题。本文针对多金属结核流态化采集头流场进行数值模拟, 开展采集头参数及其匹配的研究, 为采集头的进一步设计提供科学依据。

采集头是开采深海多金属结核的关键设备, 国内外学者先后提出了机械式、水力式两种采集方式, 但机械式采集头容易被较大的矿石卡住, 机械组件很容易出现故障, 可靠性难以保证, 因此后期的研究者均选用水力式采集^[1], 流态化采集头就是利用水力采集方式在前后水射流作用下将多金属结核矿石转为流态化采集的设备。刘少军等^[2]对深海采矿装备发展的可行性及研发模式进行了总结与展望, 表明水力式采集方式相对机械式具有更高的采集效率。陈新明等^[3]使用双排射流集矿模型机进行

了模拟结核矿石采集试验, 通过对行进速度、喷嘴参数和射流冲击力的综合分析, 认为喷嘴间距为 300~700 mm, 离结核层高度为 100~300 mm 区域进行采集较为合适。ZHAO G C 等^[4]通过量纲分析和实验研究, 探讨了球形颗粒的收集机理, 在试验中观察到涡流有助于增强吸力的现象, 建立了收集性能预测的经验模型。郭文思等^[5]采用大涡模拟方法 (Large Eddy Simulation, LES) 对淹没射流紊动流场进行数值模拟, 研究表明淹没射流流场具有很强的紊动性和随机性, 射流主体上固定点的速度和压力大小有显著的负相关关系。ZHANG Y 等^[6]通过一系列的室内实验, 研究了提升粗颗粒的临界抽吸速度, 得到了固液两相流的流动特性, 给出了预测临界抽吸速度的拟合公式。KIM S 等^[7]开发了基于康达效应的计算模型, 预测了基于康达效应拾取装置的收集效率, 优化了基于康达效应的拾取装置的设计。目前关于采集头设计参数的研究成果大都来源

收稿日期: 2022-04-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (U1906234, 51339008); 国家重点研发计划资助项目 (2021YFC2801500)

作者简介: 张东宽 (1995—), 男, 硕士研究生, 研究方向为深海矿产资源开发技术。E-mail: m5856282a@163.com

通讯作者: 夏建新 (1969—), 男, 教授, 博士, 长期从事深海矿产资源开发技术研究。E-mail: jxxia@vip.sina.com

于试验, 相较真实条件存在不同程度的简化, 不同参数的对比研究较少, 实验结果需要理论分析结果的支撑, 尤其是不同条件下淹没射流流场设计与构建, 以及射流喷嘴结构与喷射流速等参数的调整与优化等方面的研究有待进一步深入。

利用理论计算与数值模拟分析为试验参数的优化提供基础, 将极大提高试验效率。本文利用 FLUENT Meshing 的网格优化法建立不同射流角度的采集头模型, 借助流体分析软件 FLUENT 模拟采集头内部水动力特性, 分析采集头内部流场特性和参数匹配, 得到流场效果相对较好的多金属结核流态化采集头参数。

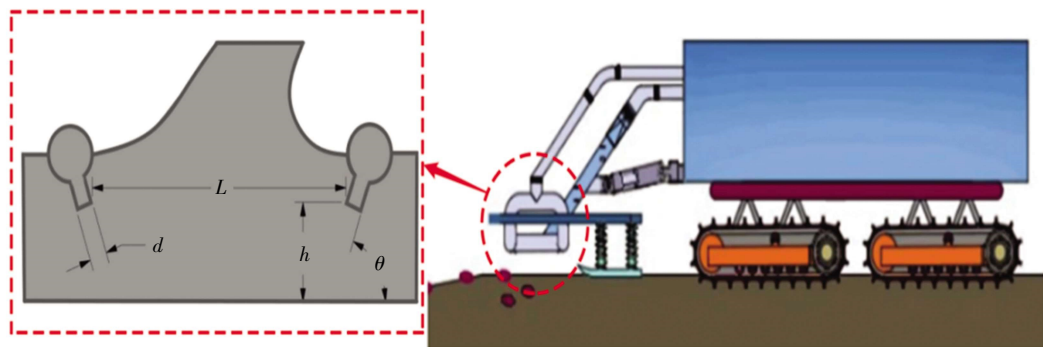


图1 多金属结核采集车及其流态化采集头

采集头内部流场特性和工作参数的匹配涉及多参数、多极值、非线性系统的优化问题^[9]。采用基于计算流体力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 理论的流体分析软件 FLUENT 对采集头内部进行流场分析。根据雷诺数的大小选择 $k-\epsilon$ 计算模型, 控制方程采用有限体积法二阶微分格式进行离散^[10]。因为采集头在前后排喷嘴中心的纵切面一致, 采用二维模型对采集头内的流场进行仿真研究, 以减少仿真计算量, 提高计算速度。网格划分选用高计算精度的四边形网格。

1.1 模型几何参数设计

1.1.1 前后喷嘴离地高度 h_1 和 h_2

喷嘴应尽可能接近海底, 以便获得较高的回采率。但离底高度必须大于结核突出海底的高度, 否则, 结核可能被推到采集头外, 无法进入采集头。原位采样结果表明, 结核大小不等, 一般直径在 5~10 cm 之间^[11], 大小如土豆, 有部分裸露在沉积物上面, 还有部分半埋在沉积物中, 射流要射到沉

1 采集头模型

多金属结核流态化采集头由前后相对的两排喷嘴、导流板、结核输送通道组成, 如图1所示。前后两排喷嘴喷出的水流将结核松动、剥离、悬浮和抬升, 被举升的结核在导流板的引导下将结核引导至输送通道, 在输送通道抽吸作用下结核被输送至集矿机的其他部分^[8]。前后两排射流对多金属结核的破土、剥离、悬浮起主要作用, 多金属结核被悬浮起来后, 依靠输送管道的抽吸作用, 多金属结核被有效采集。

积物内部, 在数值模拟中将喷嘴离地高度设为 $h_1 = h_2 = 180 \text{ mm}$ 。

1.1.2 喷嘴排距 L

水力式集矿是利用水射流将海底沉积物冲开, 并将结核从沉积物中剥离、悬浮到一定高度, 最后到达吸入口, 在抽吸作用下进入输送管, 经过输送管到达采矿车上。矿石从沉积物剥离、悬浮、上升到输送管入口需要一段时间, 采集头前后排喷嘴之间需要有一定的间距, 以保证在此时段矿石仍在采集头内, 合理的间距也可以改善流场的均匀稳定性^[12], 在数值模拟中将前后排喷嘴的排距设定为 $L = 600 \text{ mm}$ 。

1.1.3 前后射流角度 θ_1 和 θ_2

射流角度影响射流对沉积物的力度和深度, 必须要保证射流将矿石和沉积物搅动, 并使之进入流动状态。比利时全球海洋矿物资源公司 (Global Sea Mineral Resources, GSR) 采用单排喷嘴射流, 主要靠射流的康达效应抬升结核, 射流与水平方向夹

角采用小角度,在 $40^\circ\sim 45^\circ$ ^[13]。要使前后射流对结核的剥离起主要作用,并且使前后射流不容易产生交错,前后射流与水平夹角的选择需要倾向于大值,但角度并不是越大越好,还需要保证水流在斜向上对结核具有一定的切削力度。

1.1.4 前后射流喷嘴直径 d_1 和 d_2

射流的有效长度 l 取决于喷嘴形成射流的直径,根据相关研究,射流的有效距离是喷嘴直径的5~6倍^[14]。在有效长度内部,射流的能量相对集中,在这个长度之外,射流能量开始扩散并降低其速度。 d_1 和 d_2 大小由射流距离决定,为保证射流的能量在射向底面过程中相对集中,将喷嘴直径设为 $d_1 = d_2 = 40\text{ mm}$ 。

1.1.5 输送管道宽度 H_s 和倾角 γ

输送通道主要尺寸为宽度 H_s 和倾角 γ 。宽度 H_s 取决于结核的最大直径,通常等于结核最大直径的2倍,仿真分析时将宽度设为 $H_s = 200\text{ mm}$ 。倾角 γ 为 45° ,如果角度增加,输送多金属结核消耗的能量会大幅升高^[15]。

1.1.6 前后嘴射流速度 v_1 、 v_2

在双股淹没射流冲击的情形下,射流在底面会发生相互碰撞,并形成上喷流。前、后喷嘴射流速度需要根据射流角度和流场情况进行优化匹配,不能出现射流不触底、前后射流交错情况。在数值模拟时,通过固定前射流速度为 $v_1 = 10\text{ m/s}$,调整后喷嘴射流速度 v_2 找到一个合适的速度。

表1所示为多金属结核流态化采集头各项参数情况。

表1 多金属结核流态化采集头基本参数

参数	数值	定义
h_1/mm	180	后喷嘴离底高度
h_2/mm	180	后喷嘴离底高度
L/mm	600	喷嘴排距
$\theta_1/(\circ)$	60~75	前射流与水平方向夹角
$\theta_2/(\circ)$	60~75	后射流与水平方向夹角
d_1/mm	40	前射流喷嘴直径
d_2/mm	40	后射流喷嘴直径
H_s/mm	200	输送管道高度
$\gamma/(\circ)$	45	输送管道倾角
$v_1/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	10	前喷嘴射流速度
$v_2/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	—	后喷嘴射流速度

1.2 数值模拟工况

为了使采集头前后射流均能射到结核底部以下,然后碰撞汇聚成为上喷流^[16],使采集头起到较好的破土、剥离、悬浮、抽吸多金属结核的作用,需要在前期大量模拟基础上对采集头参数进行工况设计,排除射流不能到达结核底部、射流交错等情况。数值模拟发现,当前后双排喷嘴的采集头射流角度小于 60° 时,前后射流容易产生交错,一侧射流流入输送管道入口,另一侧射流从采集头底部流出。当采集头射流角度大于 75° 时,对多金属结核的剥离和悬浮作用大幅减弱。因此,将数值模拟工况定在 $60^\circ\sim 75^\circ$ 之间进行模拟,射流角度变化采取梯度为 5° 进行分析,前射流速度固定为 10 m/s ,每一个射流角度分别对应 3 m/s 、 4 m/s 、 5 m/s 的3种抽吸速度和 11 m/s 、 13 m/s 、 15 m/s 的3种后射流速度进行比较分析。数值模拟工况如表2所示。

表2 数值模拟工况参数

射流角度/ ($^\circ$)	60			65			70			75		
抽吸速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	3	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4	5
后射流速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	11	13	15	11	13	15	11	13	15	11	13	15

2 CFD数值分析方法

计算流体力学是将时间和空间上连续的物理场离散为有限的点,然后通过质量守恒方程、能量守恒方程和动量守恒方程建立这些离散点上相关变量的关系方程组,通过求解方程组得到所有变量的近似解,这种数值模拟方法可以得到流场中各物理量的大小和分布情况,进而得到流场的相关特性^[17]。

本文采用标准 $k-\varepsilon$ 湍流模型对采集头内部流场进行分析^[18],假设流动为完全湍流,分子的粘性影响可以忽略,得到湍动能 k 和耗散率 ε 方程如下。

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial X_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial X_j} \right] + G_K + G_b - \rho \varepsilon - Y_M \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial X_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial X_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial X_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_K + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2)$$

式中, ρ 为流体的密度; u_i 和 u_j 为 i 方向和 j 方向上的流速分量; X_i 和 X_j 为坐标; t 为时间; G_k 表示由于平均速度梯度引起的湍动能产生; G_b 是由于浮力影响引起的湍动能产生; Y_M 可压缩湍流脉动膨胀对总的耗散率的影响。湍流粘性系数 $\mu_t = \rho C_\mu k / \varepsilon$ 。在 FLUENT 软件中, 作为默认值常数, $C_{1\varepsilon} = 1.44$ 、 $C_{2\varepsilon} = 1.92$ 、 $C_{3\varepsilon} = 1$ 、 $C_\mu = 0.09$, 湍动能 k 和耗散率 ε 的湍流普朗特数分别为 $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$ 。

数值模拟前后排喷嘴出口、输送管道吸入口的边界条件为速度边界。考虑到流场中回流的存在, 前后出流边界在下游较远处, 认为湍流流动达到相对平衡。采集头前后出流边界设为压力边界。其余结构表面采用无滑移的壁面条件。

3 采集头流场数值模拟与参数匹配分析

3.1 流场模拟结果

采集头内部速度较大的部分集中在 3 个区域, 分别是前、后排喷嘴射流区和前后排射流汇聚后的上喷流区, 如图 2 所示。其中前后排喷嘴射流速度斜向下, 前后排射流汇聚后的上喷流区速度表现为向上。上喷流区域的速度从中间向两边逐渐递减, 两侧存在明显涡旋, 这是由于射流速度快, 带动射流两侧水进行运动, 射流到达底部改变方向, 进而产生涡旋。

多金属结核的最大直径按 $d_p = 10 \text{ cm}$ 计算, 根

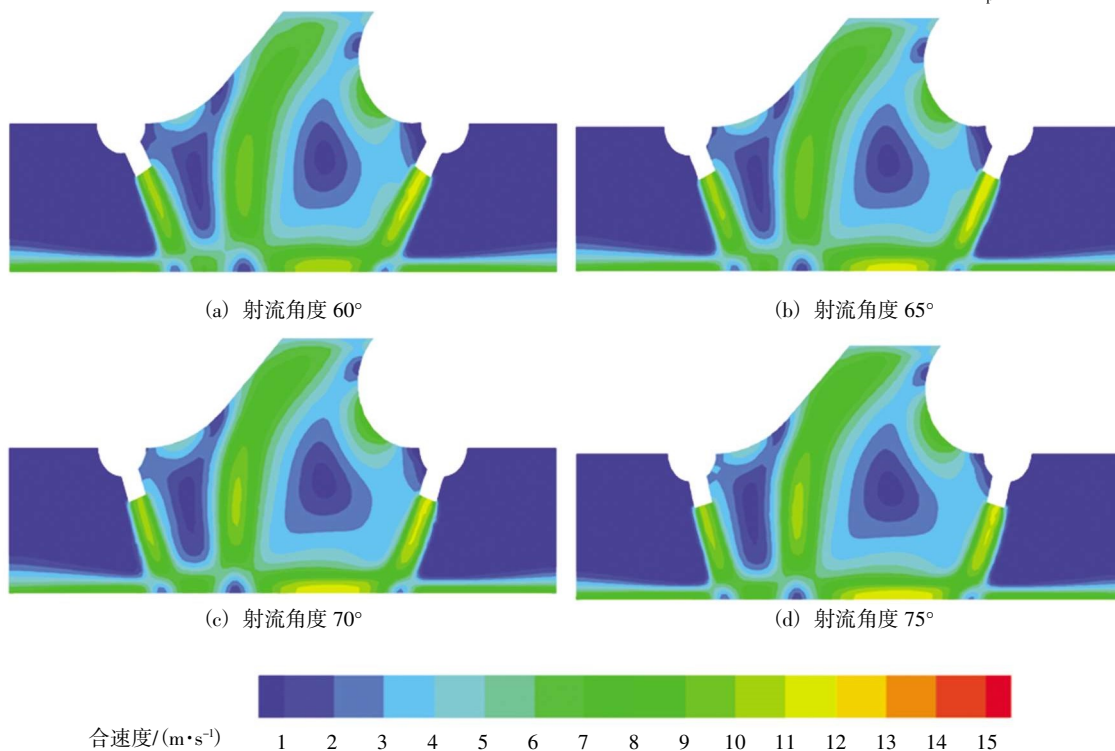


图 2 不同射流角度流场速度分布

据欧根对液固流态化临界速度的研究^[9], 计算得到多金属结核被剥离出沉积物的临界速度为 1.3 m/s。以多金属结核埋藏在沉积物内深度为 5 cm 计算, 在采集头前后排喷嘴之间离底 5 cm 高度上设置观测线。射流的主要作用是破土、剥离和悬浮多金属结核, 当多金属结核到达沉积物上层, 输送管道抽吸起主要作用, 结核被抽吸至输送管道。对观测线上 20 个点的上升速度及合速度分析, 上升速度大于金属结核被剥离出沉积物的临界速度的宽度定义

为有效作用宽度, 上升速度大于金属结核被剥离出沉积物的临界速度区域定义为有效作用区。

当射流角度为唯一变量, 抽吸速度为 3 m/s, 前射流速度为 10 m/s, 后射流速度为 13 m/s 时, 对比不同射流角度下的流场特征, 如图 3 所示。随着射流角度的变化, 采集头流场结构未发生明显变化, 有效作用宽度和有效作用区的位置也没有明显变化。射流角度同时变大或缩小相同的角度, 只影响靠近两排喷嘴位置上的流场速度, 原因是射流角

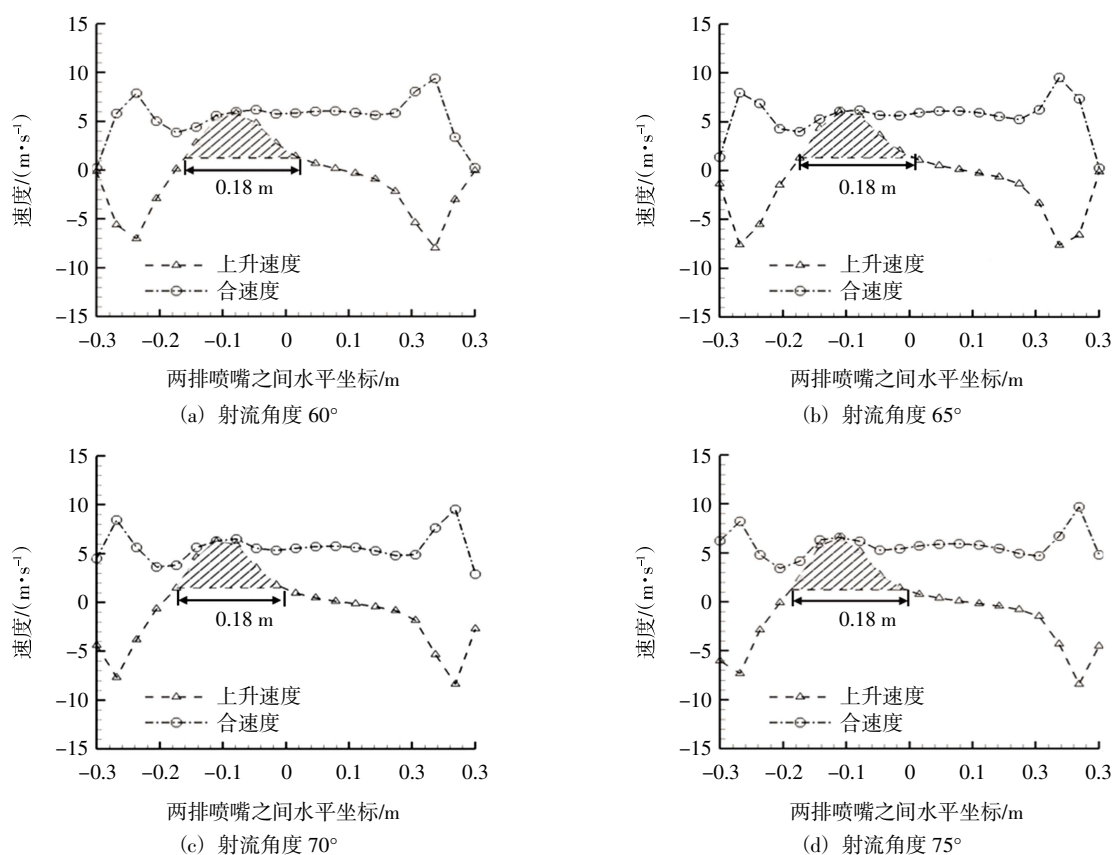


图3 不同射流角度离底5 cm高度速度分布

度不同, 射流流经的位置不同。

抽吸速度为 3 m/s, 前射流速度为 10 m/s, 不同后射流速度的流场特征, 如图 4 所示。随着后射流速度增大, 采集头有效作用区向前、向下移动, 后射流速度小, 射流触底效果差, 无法起到有效剥离

多金属结核的作用。抽吸速度和前射流速度一定时, 后射流速度保持在前后射流不产生交错的范围, 后射流速度越大, 前后射流的触底效果越好, 对多金属结核的采集效果越好。

对比不同后射流速度, 两排喷嘴间离底 5 cm

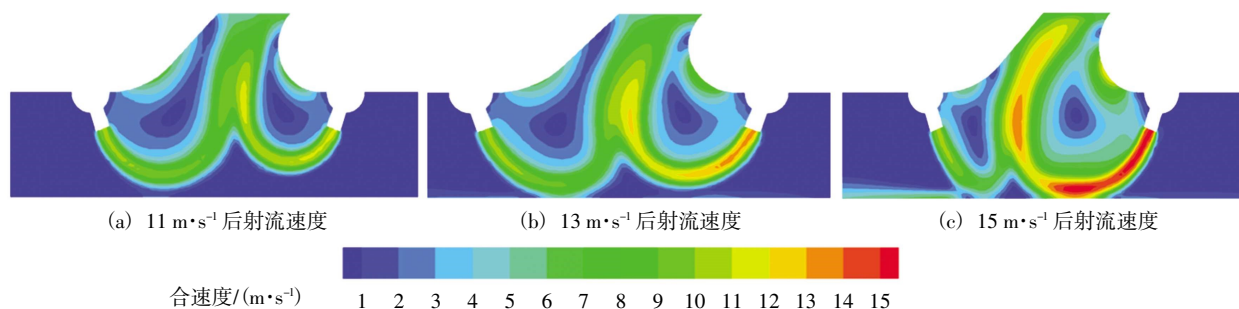


图4 不同后射流速度流场速度分布

高度观测线上的速度数据, 如图 5 所示。抽吸速度为 3 m/s, 前射流速度为 10 m/s, 后射流速度为 11 m/s 时, 有效作用宽度为 0.06 m, 此时后射流不触底, 有效作用区集中在前射流下方。后射流速度为 13 m/s 时, 后射流冲击深度加深, 后射流下方出现了有效作用区, 前射流下方的有效作用区宽度增加了 0.03 m。后射流速度为 15 m/s 时, 前后射流下

方的有效作用区重合, 有效作用区宽度达到最大。

图 6 所示为不同抽吸速度下采集头内部速度云图, 当射流角度为 70°时, 抽吸速度越大, 前后射流汇聚后上喷流区域宽度越宽, 前后射流冲击沉积物的深度越浅。前后射流在到达结核底部后会产生逆流, 抽吸速度越大, 逆流越弱。随着抽吸速度的增大, 前后射流在底面冲击点之间的间距越来越大。

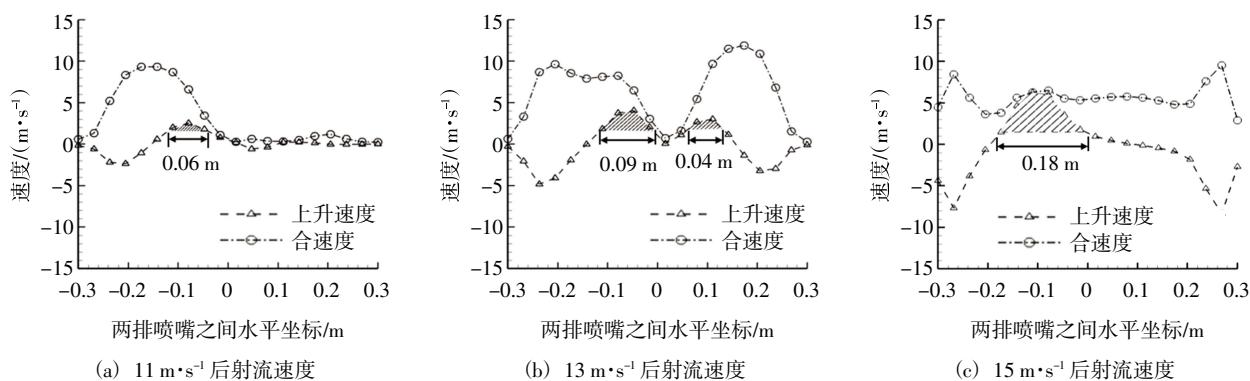


图5 不同后射流速度离底5 cm高度速度分布

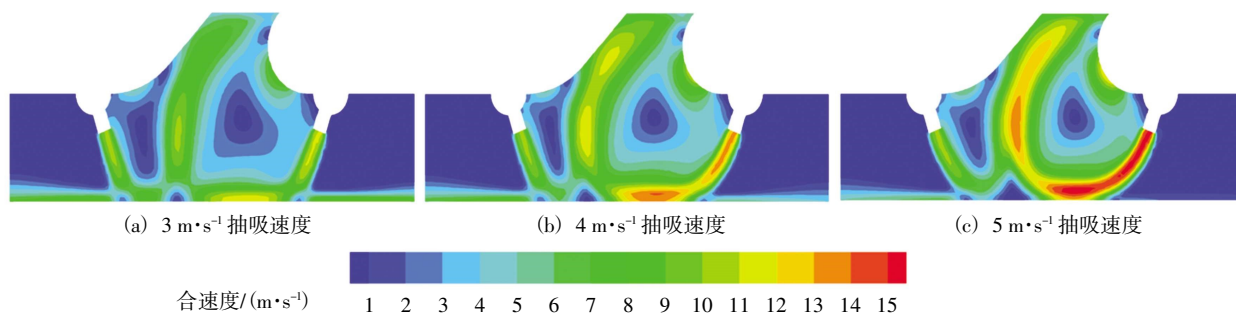


图6 70°射流速度分布

3 m/s 速度抽吸时,射流汇聚后的有效作用宽度为 0.18 m;以 4 m/s 速度抽吸,射流汇聚后的有效作用宽度为 0.2 m;以 5 m/s 速度抽吸,射流汇聚后的有效作用宽度为 0.22 m,如图 7 所示。在有效

作用宽度区域内,采集头内向上速度与合速度相差较小。在有效宽度区域外,采集头内向上速度与合速度相差较大,说明在有效宽度内,采集头内部流体速度以向上为主。

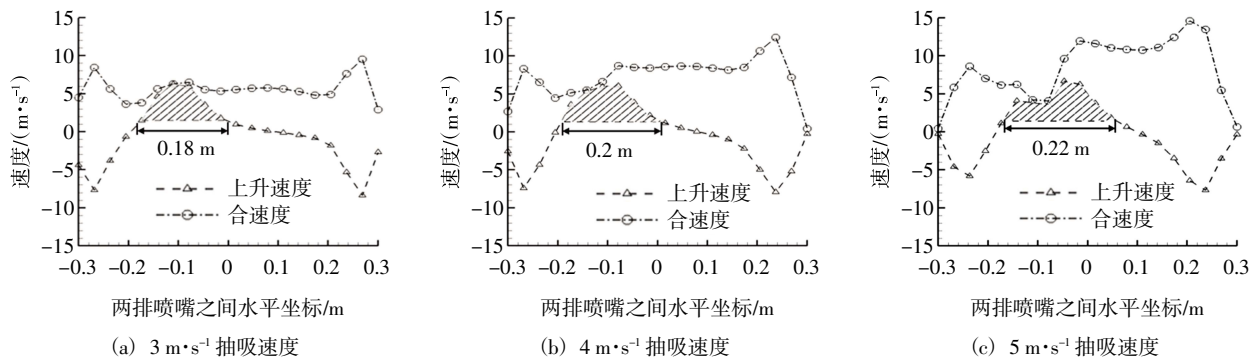


图7 70°射流离底5 cm高度上速度分布

3.2 流场参数匹配分析

流体在有效作用区内上升速度尽可能大,这样多金属结核能具备足够的上升动力。在该前提下,有效作用区内上升速度的波动还需要尽可能小,结核一旦被剥离和抬升,如果没有一个相对稳定的流场速度,结核在采集头的无规则运动会加剧,有可能在速度较小的地方下沉。在两排喷嘴之间,离底 5 cm、10 cm、18 cm 设置 3 条观测线,每条线上等间距设置 20 个点,综合所设计的 15 种工况,对满

足结核上升条件的有效作用区内的流体上升速度数据进行处理。采集头内流体上升速度的大小用满足结核上升条件的点的平均速度来衡量,速度均匀程度用速度的相对标准偏差来进行衡量^[20],结果如表 3 所示。

表3 不同射流角度有效作用区内上升速度情况

射流角度/(°)	60	65	70	75
平均值/(m·s ⁻¹)	5.13	5.28	5.32	5.29
相对标准偏差	0.50	0.53	0.54	0.55

随着射流角度的增大,采集头有效作用区内上升速度的平均值呈近似抛物线变化,射流角度为 70° 时,有效作用区内上升速度的平均值最大。上升速度的相对标准偏差随角度的变化逐渐增大。采集头的较优工况应满足流体在有效作用区内上升速度尽可能大这个首要条件,所以射流角度为 70° 时,采集头流场效果较优。

分析 3 m/s、4 m/s、5 m/s 三个不同抽吸速度条件下采集头有效作用区上升速度的平均值和相对标准偏差变化情况,如表 4 所示。采集头有效作用区内上升速度的平均值随着抽吸速度的增大而增大,速度的相对标准偏差随着抽吸速度的增大而减小。抽吸速度增大,上升速度的大小及其均匀性的变化具有一致性,抽吸速度越大,上升速度越大,速度越均匀。在 3 m/s、4 m/s、5 m/s 三种抽吸速度情况下,5 m/s 的抽吸速度效果最优。

表 4 不同抽吸速度有效作用区内上升速度情况

抽吸速度/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	3	4	5
平均值/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2.8	3.2	3.4
相对标准偏差	0.87	0.70	0.63

以采集头有效作用区内上升速度的平均值和速度的相对标准偏差为评价内容,评价不同工况下采集头的流场效果,前后射流角度为 70° ,结核输送管

道抽吸速度为 5 m/s 时,采集头流场效果相对较好。

4 结 论

本文对双排喷嘴多金属结核采集头的几何参数进行了初步设计,用 FLUENT 软件结合流体力学理论对多种工况下多金属结核采集头内部流场进行数值模拟分析,得到如下结论。

(1) 采集头的内部存在一个有效作用区,有效作用区两侧存在明显涡旋。前后射流角度相等时,射流角度变化,对采集头流场结构影响不明显。

(2) 前射流速度,后射流速度越大,射流越容易触底。抽吸速度越大,前后射流汇聚后上喷流区域宽度越宽,前后射流越不容易到达结核底部。

(3) 当采集头主要尺寸为前后排喷嘴直径 40 mm、喷嘴离底高度 180 mm、喷嘴排距为 600 mm 时,前后射流与水平方向呈 70° 时,前排喷嘴射流速度 10 m/s,后排喷嘴射流速度 15 m/s 时,抽吸速度为 5 m/s 时,采集头内部流场效果相对较好。

本研究可加深对深海多金属结核流态化采集头集矿机制的理解,丰富水力集矿研究的分析方法,并为流态化采集头的优化设计及集矿系统动力参数选取提供参考,为采集头的进一步设计提供依据。

参考文献:

- [1] 阳宁,夏建新.国际海底资源开发技术及其发展趋势[J].矿冶工程,2000,20(1):1-4.
- [2] 刘少军,刘畅,戴瑜.深海采矿装备研发的现状与进展[J].机械工程学报,2014,(2):8-18
- [3] 陈新明,简曲.深海采矿复合式集矿方法的试验研究[J].矿业研究与开发,1996,16(4):1-4.
- [4] ZHAO G C, XIAO L F, TAO P, et al. Experimental research on hydraulic collecting spherical particles in deep sea mining[J]. Energies, 2018, 11(8): 1938-1939.
- [5] 郭文思,李龙国,刘超,等.淹没射流流场演化过程研究[J].四川大学学报(工程科学版),2017,49(Z1):35-43.
- [6] ZHANG Y, LU X, ZHANG X, et al. Experimental investigation of critical suction velocity of coarse solid particles in hydraulic collecting[J]. Acta Mechanica Sinica, 2021, 37(4): 613-619.
- [7] KIM S, CHO S, LEE M, et al. Reliability-based design optimization of a pick-up device of a manganese nodule pilot mining robot using the Coandă effect[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2019, 33(8): 3665-3672.
- [8] 夏剑锋,王贵满.深海采矿水力式集矿模型机[J].矿冶工程,1996,16(4):18-21.
- [9] 胡旭林.基于 Workbench 的 O 形圈多参数非线性优化[J].煤矿机械,2013,34(5):96-98.
- [10] 朱泽辉,聂欣,廖海波.基于低雷诺数 $k-\epsilon$ 模型冲击射流传热的数值模拟[J].水电能源科学,2021,39(4):157-160.
- [11] 黄文星,朱本铎.数字地貌在大洋多金属结核调查区海底命名规划中的应用[J].矿床地质,2014,0(S1):1112.
- [12] 刘宪伟,范迅.水垫带式输送机水垫压力场数值模拟[J].煤炭学报,2007,3:317-320.

- [13] 官雷, 张东宽, 夏玉超, 等. 深海多金属结核采集方式及其结构参数比较分析[J]. 海洋技术学报, 2021, 40(5): 62–70.
- [14] 陈欣欣, 王川, 施卫东, 等. 不同冲击角度下淹没冲击水射流的数值计算[J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(7): 658–662.
- [15] YANG N, TANG H. Several considerations of the design of the hydraulic pick-up device[C]//ISOPE(International Society of Offshore and Polar Engineers) Ocean Mining Symposium. Tsukuba, JP: ISOPE, 2003: 119–122.
- [16] SARIPALLI K S. Laser Doppler velocimeter measurements in 3-D impinging twin-jet fountain flows[J]. Turbulent Shear Flows, 1987, 5: 146–168.
- [17] 翟建华. 计算流体力学(CFD)的通用软件[J]. 河北科技大学学报, 2005, 26(2): 160–165.
- [18] 常书平, 王永生. 采用 $k-\varepsilon$ 湍流模型的喷水推进器性能预报[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(4): 88–90.
- [19] 易绍连, 赵廷仁. 液固流化床临界流速和带出速度的测定和计算[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 1982, 3: 94–101.
- [20] 宋力, 田瑞, 刘占峰, 等. 基于 CFD 的低速风洞出口实验段流场速度均匀性分析研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2011, 32(2): 199–201.

Matching of Flow Field Parameters of Deep-Sea Polymetallic Nodules Fluidized Collector

ZHANG Dongkuan¹, GUAN Lei¹, CAO Huade², XIA Jianxin¹

(1. Department of Environment, Minzu University of China, Beijing 100081, China;

2. Department of Ocean Sciences, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: The deep sea contains abundant mineral resources, among which polymetallic nodules may become an effective guarantee for future metal resources. One of the difficulties in the development of polymetallic nodules is how to efficiently and greenly collect polymetallic nodules from sediments to mining vehicles. The hydraulic collection method is currently a research hotspot. The hydraulic polymetallic nodules collector based on the double-row nozzle jet has attracted extensive attention due to its simple structure, high reliability and low energy consumption. The velocity field of the internal flow field of the collection head with different jet angles and different suction speeds is numerically simulated by using the numerical simulation software. The turbulence model adopts the standard $k-\varepsilon$ turbulence model. The discrete coefficient is used to evaluate the effect of the flow field of the collector. The results show that when the front and rear jets are 70° from the horizontal direction, when the jet velocity of the front nozzle is 10 m/s, the jet velocity of the rear nozzle is 15 m/s, and the suction velocity is 5 m/s, the internal flow field effect of the collector is relatively good.

Key words: polymetallic nodules; hydraulic collection; numerical simulation; parameter matching