

海底多金属结核水力式集矿系统产生的污泥浓度分析^①

陈时平, 卓晓军, 李俊, 郑皓, 双志, 王伟

(长沙矿冶研究院有限责任公司 深海矿产资源开发利用技术国家重点实验室, 湖南 长沙 410012)

摘要: 研究了海底多金属结核水力式集矿系统在不同工况条件下产生的污泥浓度。结果表明, 海底多金属结核水力式集矿系统中输送系统脱泥排放产生的污泥浓度远高于捕捉系统扰动底质淤泥产生的污泥浓度, 是产生水体浑浊的主要原因之一。试验过程中污泥浓度变化曲线呈现先迅速上升后快速下降的变化趋势, 随着捕捉系统水泵油压增大, 污泥浓度增大; 输送系统水泵油压对污泥浓度影响不明显。

关键词: 深海采矿; 多金属结核; 水力式集矿; 污泥浓度; 海洋环境保护

中图分类号: TD807

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.03.004

文章编号: 0253-6099(2023)03-0016-04

Concentration Analysis for Plume Caused by Hydraulic Collecting System in Deep-Sea Polymetallic Nodules Mining

CHEN Shiping, ZHUO Xiaojun, LI Jun, ZHENG Hao, SHUANG Zhi, WANG Wei

(State Key Laboratory of Exploitation and Utilization of Deep Sea Mineral Resources, Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy Co Ltd, Changsha 410012, Hunan, China)

Abstract: The concentration of plume caused by hydraulic collecting system during deep-sea polymetallic nodules mining under different working conditions were analyzed. Test results show that the concentration of discharged plume from conveying system is much higher than that of sediment plume caused by the disturbance of capture system, which is one of the main causes of turbidity current in the sea. In the test, the curve of slurry concentration presented a steep upward trend line followed by a steep downward line. Increasing oil pressure of the pump of capture system will lead to higher concentration of slurry. However, the oil pressure of the pump of conveying system won't result in obvious variation in slurry concentration.

Key words: deep-sea mining; polymetallic nodules; hydraulic collection; plume concentration; ocean environmental protection

海底多金属结核水力式集矿系统在进行多金属结核采矿作业时, 由水力式捕捉系统产生的高压水射流会对海底表层面的底质沉积物进行“剥离”, 使得大量海底沉积物受到高压射流的冲击作用而被搅动抬举起来。多金属结核、海底沉积物和水等经输送系统输送至矿物分离脱泥装置处, 大量的海水和沉积物混合物从此处排出, 产生的废水混合物一般由海水、海底沉积物、结核碎屑和海底生物等组成。在水流作用下悬浮颗粒会扩散到更远的区域, 形成大面积的海底沉积物羽状流。大量飘散在水体中的悬浮颗粒物导致相应

区域光照衰减, 严重影响浮游植物的光合作用^[1-2]。当前, 为了保护好海洋环境不因开发而受到影响, 《联合国海洋法公约》规定了各国应采取一切必要措施防止、减少和控制其管辖区内相关作业造成的海洋环境污染。同时, 国际海底管理局出台的《指导承包者评估“区域”内海洋矿物勘探活动可能对环境造成的影响的建议》中提出必须对深海采矿对海底环境造成的影响进行评估^[3]。因此, 研究深海采矿作业对海底环境产生的影响已成为一个重要课题。目前基于海底多金属结核水力式集矿系统对底质扰动的研究和认识

① 收稿日期: 2022-12-13

基金项目: 2020年度湖南省科技重大专项(2020GK1020); 中国五矿集团重大科技专项; 长沙矿冶研究院有限责任公司青年基金项目

作者简介: 陈时平(1990—), 男, 湖南人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为深海采矿及其环境影响。

通信作者: 卓晓军(1978—), 男, 四川自贡人, 博士, 正高级工程师, 主要研究方向为水下作业技术及新能源材料。

还非常不足,无法科学评价水力式集矿系统对海底环境造成的影响和风险^[4]。本文对海底多金属结核水力式集矿系统试验过程中产生的污泥浓度进行研究,研究内容对评估海底采矿系统对海底产生的环境影响和海底采矿系统的优化设计具有一定指导意义。

1 水力式集矿试验

1.1 试验方法

海底多金属结核水力式集矿系统在进行采矿作业时,通过捕捉喷嘴形成的高压水射流使海底多金属结核松动、抬升并捕捉至输送通道进口处,再由输送喷嘴产生的高压水射流将多金属结核经输送通道输送至筛网处进行脱泥处理,脱泥后的多金属结核进入料仓进行破碎处理^[5-6]。

海底多金属结核水力式集矿系统工作时,捕捉喷嘴产生的高压水射流会将海底的沉积物和多金属结核共同从海底底层剥离,会刨除海底底质层 10~50 mm 厚的淤泥。此时,捕捉喷嘴会搅动附近底质层淤泥,大量被搅动淤泥颗粒物会随水流运动而扩散。输送系统将多金属结核、底质污泥、水等经输送通道输送到筛网处进行脱泥和排污处理,在筛网装置后方排出的水体中含有大量的淤泥和废水。因此可通过在试验水池中布置多个污泥传感器来实时监测海底多金属结核水力式集矿系统在水体中产生的污泥颗粒物浓度。

1.2 试验设备

采用实验室自制的多金属结核水力式集矿系统,通过布置污泥浓度传感器实时测量水体中悬浮物浓度变化情况。水力式集矿系统示意图如图 1 所示,该系统由 4 个液压马达驱动水泵形成高压水射流,其中两侧的 1#水泵和 2#水泵形成的高压水射流用于捕捉海底多金属结核,中间的 3#水泵和 4#水泵形成的高压水射流用于输送被捕捉的多金属结核,将其传递至脱泥网处,进行结核泥水分离。

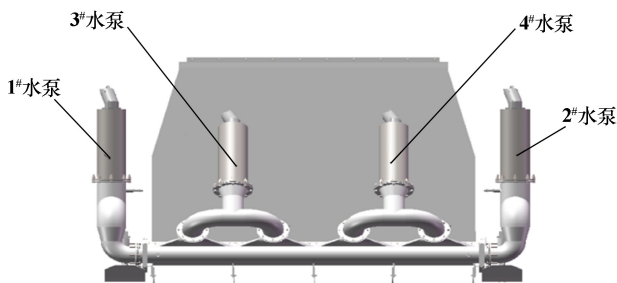


图 1 水力式集矿系统示意图

本次用于监测试验水池中的污泥传感器型号为 MLSS-530,可测量污泥浓度范围 0.1~12 000 mg/L。

试验在 40 m×10 m×10 m 的试验水池中进行,多金属结核水力式集矿系统和污泥传感器布点位置如图 2 所示,其中监测点 1 处传感器用于测量由水力集矿系统喷嘴产生的污泥浓度,监测点 2 处传感器用于测量由输送通道输送到筛网处排出的污泥浓度。安装布放污泥浓度传感器时,要求污泥浓度传感器的玻璃镜头要顺着水流方向。

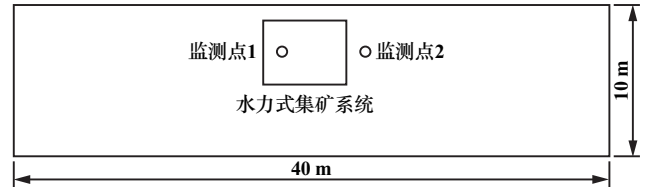


图 2 水力式集矿系统和污泥传感器布点位置

1.3 试验工况

根据多金属结核水力式集矿系统配套用的液压系统,可以通过调节溢流阀的压力来控制水力式捕捉系统和输送系统水泵的油路压力,以实现不同工况条件的控制调节,利用污泥传感器测量出不同工况条件下捕捉系统和输送系统分别产生的污泥浓度,集矿试验时间为 150 s,5 种工况条件下的水泵油压参数见表 1。

表 1 不同工况条件下水泵油压参数

工况	油压/MPa			
	1#水泵	2#水泵	3#水泵	4#水泵
1	10.0	10.0	15.0	15.0
2	14.0	14.0	15.0	15.0
3	19.0	19.0	15.0	15.0
4	14.0	14.0	14.0	14.0
5	14.0	14.0	18.0	18.0

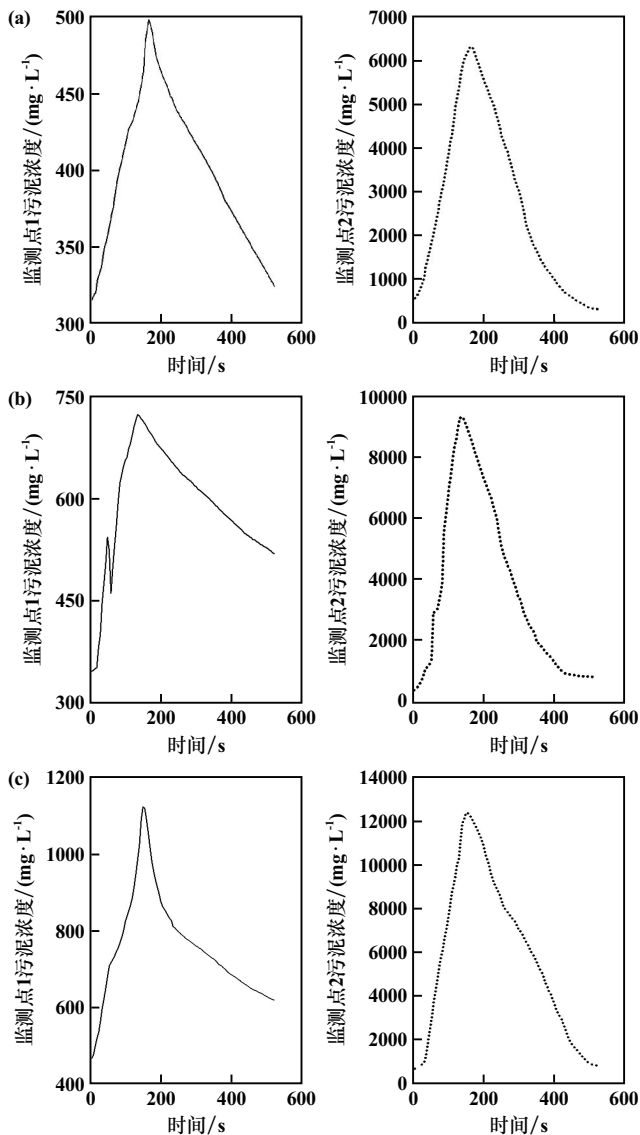
在试验水池的底层铺设好模拟结核和底质淤泥,同时在试验水池中注入高于海底多金属结核水力式集矿系统约 40 cm 的水,调试好水力式集矿系统,为水力集矿试验做准备。在水力式集矿系统进行采集取样试验前,测量并记录污泥浓度计读数;启动水力式集矿系统,测量污泥浓度并记录数据。

2 试验结果及讨论

2.1 捕捉系统水泵油压对污泥浓度的影响

输送系统水泵(3#和4#水泵)油压 15.0 MPa,捕捉系统水泵(1#和2#水泵)油压变化对污泥浓度的影响如图 3 所示。从图 3 可知,随着捕捉系统水泵开始工作,监测点污泥浓度迅速增加,直至完成 150 s 的集矿试验后污泥浓度快速下降,整个过程中污泥浓度变化曲线呈现先升后降的趋势。工况 1 时,监测点 1 和监测

点2最大污泥浓度分别为497.5 mg/L和6 309.6 mg/L,说明多金属结核水力式集矿系统的输送系统脱泥排放产生的污泥浓度远高于捕捉系统喷嘴扰动底质淤泥产生的污泥浓度。增加1[#]和2[#]水泵油压至14 MPa(工况2),监测点污泥浓度迅速增大,说明增加捕捉系统喷嘴对底质淤泥的扰动强度会使捕捉系统附近水体污泥浓度增加,同时也迅速增加输送系统脱泥排放污泥的浓度。该工况下监测点1和监测点2最大污泥浓度分别为723.4 mg/L和9 299.7 mg/L。继续增加1[#]和2[#]水泵油压至19 MPa(工况3),监测点污泥浓度继续增大,监测点1和监测点2最大污泥浓度分别为1 179.1 mg/L和12 435.4 mg/L。相比于工况2,工况3监测点1的污泥浓度增加值(455.7 mg/L)远低于监测点2的污泥浓度增加值(3 135.7 mg/L),可见,多金属结核捕捉系统油压越大,产生的高压水射流越大,冲击



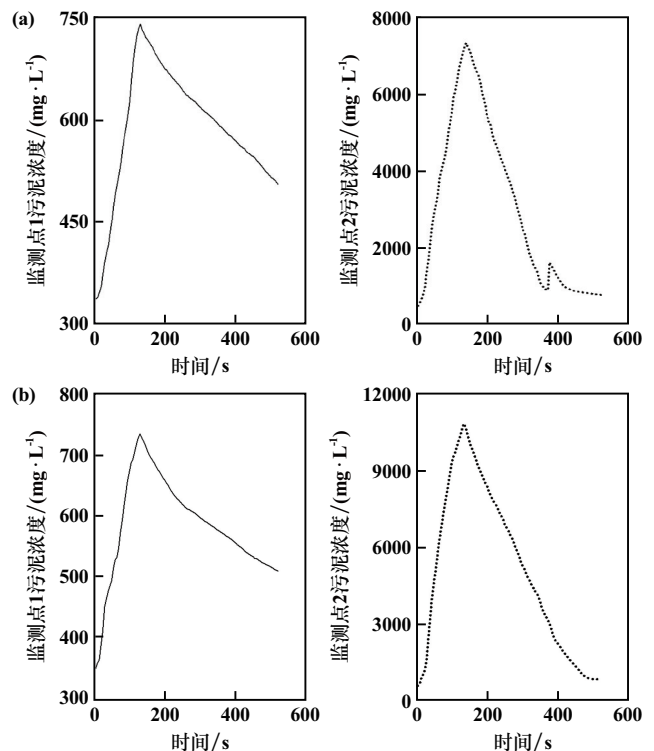
(a) 工况1; (b) 工况2; (c) 工况3

图3 捕捉系统水泵油压对污泥浓度的影响

搅动起来和被捕捉的底质淤泥越多,在水体中形成的污泥浓度和经输送系统排出的污泥浓度越大。

2.2 输送系统水泵油压对污泥浓度的影响

捕捉系统水泵(1[#]号和2[#]水泵)油压14 MPa,输送系统水泵(3[#]和4[#]水泵)油压变化对污泥浓度的影响如图4所示。从图4可知,维持捕捉系统水泵油压14.0 MPa不变,输送系统水泵(3[#]和4[#]水泵)油压14 MPa(工况4)时,监测点1和监测点2最大污泥浓度分别为730.5 mg/L和7 282.3 mg/L,相对于工况2,监测点1污泥浓度仅增加了7.1 mg/L,监测点2污泥浓度降低了2 017.4 mg/L,说明输送系统水泵油压低于15.0 MPa时,会比较明显地降低输送系统脱泥排放出的污泥浓度。增加输送系统水泵油压至18 MPa(工况5),监测点1和监测点2最大污泥浓度分别为732.4 mg/L和10 645.5 mg/L,相对于工况2,监测点1污泥浓度增加了9 mg/L,监测点2污泥浓度增加了1 345.8 mg/L,说明输送系统水泵油压大于15.0 MPa后,输送系统脱泥排放的污泥浓度会适当增大,但增大速度较慢。其原因在于被捕捉系统捕捉至输送系统的底质淤泥的量有限,输送系统脱泥排放的污泥浓度会随着水泵油压增大而逐步变大,至最大值后维持在最大值附近不再变化。



(a) 工况4; (b) 工况5

图4 输送系统水泵油压对污泥浓度的影响

2.3 对比与分析

1) 捕捉系统水泵油压越高,产生的高压水射流越

大,冲击搅动起来的底质淤泥越多,在水体中形成的污泥浓度越大,对水体造成的影响越大。

2) 降低输送系统水泵油压,输送系统脱泥排放的污泥浓度明显降低;而增加输送系统水泵油压时,输送系统脱泥排放的污泥浓度增大速度较慢,主要是被捕捉系统捕捉至输送系统的底质淤泥的量有限,输送系统排出的污泥浓度也有限。

3) 海底采矿车进行采矿作业时,在不降低海底采矿车采集率的前提下,为了降低污泥浓度,应尽量采用喷嘴系统水泵和输送系统水泵较低油压工况条件。

3 结 语

1) 在海底多金属结核水力式集矿系统中,输送系统脱泥排放产生的污泥浓度远高于捕捉系统扰动底质淤泥产生的污泥浓度,输送系统脱泥排放的污泥是产生水体浑浊的主要原因之一。

2) 在海底水力式集矿系统试验过程中,监测到的污泥浓度呈现先迅速上升后快速下降的变化趋势,随着试验的进行,水体中污泥浓度迅速增加,集矿试验结束后污泥浓度快速下降,直至恢复到初始浓度状态,说

明在集矿试验过程中,被搅动和捕捉的大颗粒底质泥沙受重力作用会快速沉降至水底。

参考文献:

- [1] 王春生,周怀阳. 深海采矿对海洋生态系统影响的评价Ⅱ. 底层生态系统[J]. 海洋环境科学, 2001,20(2):32-37.
- [2] 丁忠军,孙永福,高 伟,等. 深海采矿潜在环境影响因素及监测技术体系研究[J]. 海洋开发与管理, 2021,38(7):73-83.
- [3] ISA. Recommendations for the guidance of contractors for the assessment of the possible environmental impacts arising from exploration for marine minerals in the Area[EB/OL]. <https://www.isa.org.jm/document/isa25ltc6>.
- [4] Durden J M, Lallier L E, Murphy K, et al. Environmental Impact Assessment process for deep-sea mining in 'the Area'[J]. Marine Policy, 2018, 87:194-202.
- [5] 李小艳,程阳锐,郑 皓,等. 新一代海底履带式集矿车“鲲龙500”行走性能分析[J]. 矿冶工程, 2020,40(5):1-4.
- [6] Cho S G, Park S, Choi S, et al. Multi-objective design optimization for manganese nodule pilot miner considering collecting performance and manoeuver of vehicle[C]//ISOPE ocean mining & gas hydrates symposium. 2013.

引用本文: 陈时平,卓晓军,李 俊,等. 海底多金属结核水力式集矿系统产生的污泥浓度分析[J]. 矿冶工程, 2023,43(3):16-19.

(上接第15页)

- [10] 王明年,万姜林,杨其新. 隧道超欠挖的力学效果分析[J]. 西南交通大学学报, 1996(6):3-8.
- [11] Hoek E, Brown E T. The Hoek-Brown failure criterion and GSI-2018 edition[J]. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2019,11(3):445-463.
- [12] Carranza-Torres C, Diederichs M. Mechanical analysis of circular

liners with particular reference to composite supports. For example, liners consisting of shotcrete and steel sets[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2009,24(5):506-532.

引用本文: 金开玥,左宇军,郑禄琛,等. 基于激光扫描的巷道不规则围岩表面对喷射混凝土支护特性影响分析[J]. 矿冶工程, 2023,43(3):11-15.

关于检测学术不端的公告

为弘扬良好学术风气,保护知识产权,防止抄袭、伪造、篡改、不当署名、一稿多投、一个学术成果多篇发表等学术不端行为,本刊与中国学术期刊(光盘版)电子杂志社合作,由中国学术期刊(光盘版)电子杂志社学术不端文献检测中心对本刊网络版刊登的文章进行系统检测,并按照“《中国学术期刊网络出版总库》删除学术不端文献暂行办法”,对出现以上学术不端行为的文章作出严肃处理。

特此公告!

矿冶工程杂志编辑部

2023年6月