

气泡帷幕拦浑效率试验研究

常聪聪¹, 翟建国², 黄筱云^{1,3*}, 黄瑞启¹

(1. 长沙理工大学 水利工程学院, 湖南 长沙 410114; 2. 中交武汉港湾工程设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430040;
3. 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114)

摘要:为评估气幕帘拦浑效果,开展气泡羽流、浑水异重流以及与气幕拦污室内试验。试验水深一定时,测量并分析气幕羽流产生的流场;研究气幕对浑水输运方式的影响;分析不同供气量对浑水拦截效率的影响。通过控制变量法研究,结果表明:气泡羽流速度与供气量有关,供气量小于60 L/min时,气幕所形成环流水平范围约为6倍水深;气幕会使泥沙细颗粒在向上羽流作用下来到表层,并在下游侧环流的作用下,沿水深均匀分布。气幕的拦浑效果不仅与供气量有关,也与泥沙颗粒有关,当气泡羽流速度与泥沙颗粒沉速之比足够大,气幕便具备良好拦截效果;若供气量增加至一定量,更多泥沙颗粒会通过紊动扩散的方式穿过气幕。本文对气幕拦污进行的实验研究与分析弥补了该项研究在实验方面的不足,可为气幕拦污工程应用提供支持与指导。

关键词:气泡帷幕;羽流;异重流;拦浑;室内试验

中图分类号:TV691

文献标志码:A

文章编号:1002-3682(2021)03-0196-10

doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2021.03.004

引用格式:CHANG C C, ZHAI J G, HUANG X Y, et al. An experimental study on the efficiency of bubble curtain intercepting turbid water[J]. Coastal Engineering, 2021, 40(3): 196-205. 常聪聪, 翟建国, 黄筱云, 等. 气泡帷幕拦浑效率试验研究[J]. 海岸工程, 2021, 40(3): 196-205.

疏浚会引起底泥再悬浮,造成周围水体浑浊,给水生态环境带来不利影响。为了控制其影响范围,一种有效的措施是布置防污帘^[1]。作为一种实体屏障,防污帘几乎能够阻止泥沙扩散,但它必须布置在平静环境中,且不能干扰船舶航行。近年来,国外尝试利用气泡帷幕削弱泥沙扩散^[2]。气泡帷幕通过空气压缩机将空气泵送至水底的开孔圆管,从而在圆管上方水柱内形成气泡墙。与防污帘相比,气泡帷幕允许船舶从上方通过,且安装操纵简单。气泡帷幕的水力特性研究可追溯到1907年^[3],它被用作防波堤对码头进行防护。近年来,除了气幕消波研究^[4]外,还开展了气幕围油^[5]、气幕防咸^[6]、气幕融冰^[7]、气幕消层^[8]、气幕减震消噪^[9-10]以及气幕控鱼^[11]等研究。最早的气幕控沙研究是1968年De Nekker和Knol在鹿特丹港开展的气幕减淤试验^[12],在该试验中,气幕用于削弱浑水异重流的入侵。1973年,Philips在华盛顿格雷港测试了气幕减淤效果^[13]。1991年,Christiansen和Kirby在汉堡港测试了气幕导流减淤效果^[14]。2002年,Chapman和Douglas在新泽西港范库尔水道3号码头布置气幕筏,测试了气幕筏的减淤效果^[15]。2013年,Dugué等通过实验室试验研究弯道气幕对弯道地形的影响^[16]。2014年,Cutroneo等在意大利热那亚港测试口门处气幕对港池浑水的拦截效果,以及当地自然条件对其产生的影响^[2]。2015年,Dugué等测试了气幕对明渠和河流地形的影响效应^[17]。2016年,Champagne等在实验室水槽消静池中研究了气幕的减冲机制^[18-19]。2019年,Tipireddy和Barkdoll研究了桥墩处气幕减冲的效果^[20]。2019年,李智等采用数值模拟方式研究了气幕防悬浮物扩散的效果^[21]。

到目前为止,大部分的研究都是依托具体工程来开展,缺乏实验室的研究成果,有关实验室气幕阻止悬

收稿日期:2021-05-25

资助项目:国家自然科学基金项目——粒子 level set 方法的改进与空间自适应波浪模型并行化研究(52171245);湖南省教育厅科学研究重点项目——波浪破碎的多相流精细模拟(20A011);湖南省交通科技项目——疏浚防污帘技术及工程应用研究(201822)

作者简介:常聪聪(1996—),男,硕士研究生,主要从事水下气幕帘方面研究. E-mail: 2385890121@qq.com

* **通信作者:**黄筱云(1980—),男,副教授,博士,主要从事港口航道与海岸工程方面研究. E-mail: xiaoyun.huang@csust.edu.cn

(李 燕 编辑)

沙扩散试验研究较少。但是室内实验室的研究对现场具体工程实施具有非常重要的指导和借鉴意义,通过实验室的研究可以有效地防止在现场具体工程实施时的资源浪费,可以根据室内实验室的结果来指导具体工程实例。本文将通过室内水槽试验,分析气泡羽流水力特征,研究不同粒径泥沙异重流运动差异,探讨供气量对气幕拦污效果的影响,为气幕帘拦污的工程应用提供支持。

1 试验概况

1.1 试验装置

气幕拦污试验在长沙理工大学水利试验中心试验水槽内开展,水槽长约 40 m,宽 2 m,深 0.7 m。气幕系统由空气压缩机、流量控制器、曝气管、连接管和阀门等设备与构件组成。其中,曝气管选用市面常见的纳米曝气管,曝气管内、外径分别为 9 和 16 mm。为减小供气量沿程衰减对试验结果的影响,试验采用曝气管两端供气的方式。试验采用 2 台活塞式空气压缩机同时供气,空气压缩机最大供气流量为 0.25 m³/min,额定最大压力为 0.8 MPa;供气量通过转子流量计调整,转子流量计最大量程为 100 L/min,最小量程为 10 L/min;曝气管、转子流量计与空气压缩机采用透明软管连接。室内试验装置如图 1 所示。气幕所产生的流场采用多普勒声学流速仪、螺旋桨流速仪测量,其中,螺旋桨流速仪用以测量表层流速。

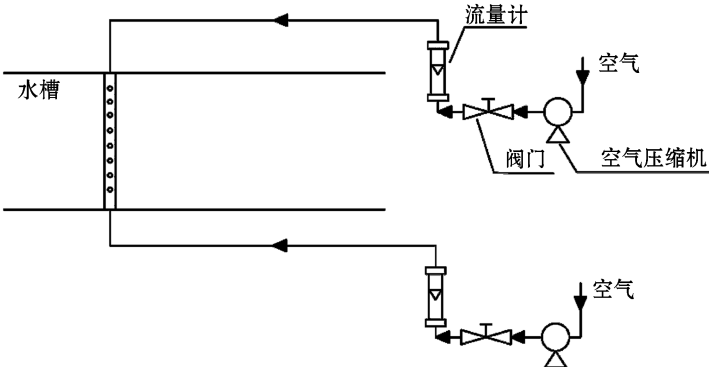


图 1 试验装置示意图
Fig.1 Sketch of experimental installations

1.2 试验浑水

试验中采用高岭土配置浑水,现在市面上常见的高岭土有 2 种:一种颗粒粒径约为 10 μm,属于粉沙范围的 1 250 目高岭土;另一种粒径约为 4 μm,属于淤泥范畴的 4 000 目高岭土。2 种不同粒径的高岭土浑水可以分别代表大颗粒粒径与小颗粒粒径的浑水情况。采用 2 种不同粒径的高岭土进行室内试验,可以预测气泡帷幕对不同泥沙颗粒的拦浑效率,可对现场工程实施提出有效建议。在试验前先确定质量浓度与浊度关系曲线,当样品浊度值超过最大量程时,先将样品稀释后进行测量。图 2 为 1 250 目和 4 000 目高岭土溶液质量浓度与浊度关系曲线,其中 1 250 目和 4 000 目的拟合曲线分别为 $y = 1\,516.77x + 7.03$ 、 $y = 2\,431.31x + 4.93$,可以看出,相同质量浓度下,4 000 目高岭土溶液的浊度值更高。

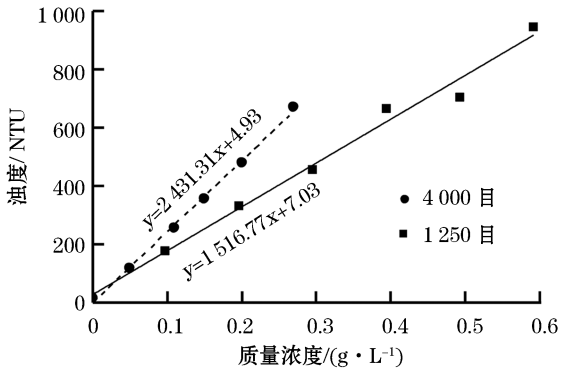


图 2 高岭土浑浊液质量浓度与浊度关系曲线
Fig.2 Relationship between the concentration of kaolin in and the turbidity of the turbid water

1.3 试验组次

本次试验选取不同供气量(30 L/min、40 L/min、50 L/min 和 60 L/min)、不同曝气管孔密度(1 000~1 200个/m、1 500 个/m 和 2 000~2 500 个/m, 所产生气泡直径范围分别为 0.3~0.8 mm、0.2~0.5 mm、0.2~0.3 mm)和不同浑水浊度(相同质量浓度下 1 250 目和 4 000 目的高岭土浑水), 分析不同条件下气幕的水动力特征以及拦污效果。

2 试验结果分析

2.1 气幕流场

为捕捉气幕羽流流场二维特征和断面的平均质量浓度, 沿水槽断面选取 5 个测量位置, 取其平均作为气幕羽流流场特征值与断面的质量浓度, 每个测量位置上沿水深选取多个测量点, 以获得水平流速分布剖面 and 浊度分布剖面。测量时, 提前 5 min 开启气幕, 确保气泡羽流以及环流稳定。

图 3 给出了水深 $d = 50$ cm 时, 气幕中心不同水深处垂向速度随供气量变化曲线, 图中曲线通过回归拟合得到。明显看出, 中心垂向速度沿水深先增加后减小, 当出气量大于 40 L/min 时, 最大垂向速度均出现在半水深位置, 且随供气量的增加而增大。图 4 给出了不同供气量下, 气幕下游 1.5d、3.0d、4.5d 和 6.0d 位置的表层流速。由图 4 可见: 供气量越大, 气幕产生水流强度越大, 水平流范围也越广。在 1.5d 处, 供气量增加一倍, 表面水平流速增加约 0.45 倍; 在 4.5d 位置, 出气量为 30 L/min 的气幕影响可以忽略不计; 而在 6d 处, 出气量为 60 L/min 的气幕产生的表面水平流速仅为 1.5d 处的 1/10; 在 4.5d 范围内, 气幕远场的表面流速几乎与距离呈反比。

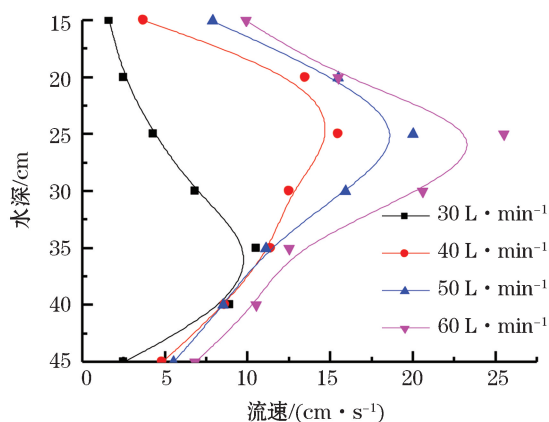


图 3 气幕中心垂向流速分布

Fig.3 Distribution of vertical flow speed at the center of the bubble curtain

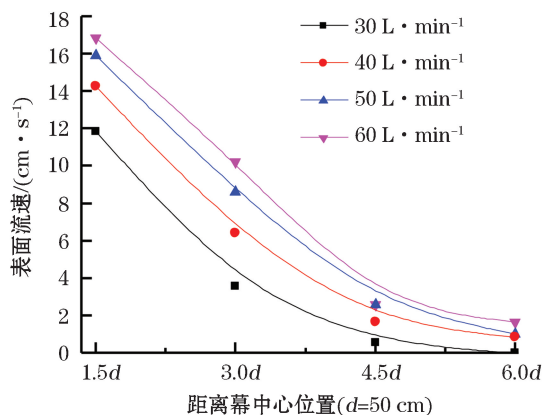


图 4 气幕附近表面流速分布

Fig.4 Distribution of surface flow speeds near the bubble curtain

图 5 为不同供气量下 1.5d、3.0d、4.5d 和 6.0d 位置的水平流速剖面, 这里规定气幕下游为水平流速的正方向。明显看出, 在这 4 个断面, 表层水平流厚度几乎保持一致, 且均不随供气量的改变而变化。从图 5 中可以看出, 在 1.5d 位置, 不同供气量所产生的表层水平出流厚度几乎一致, 约为 13 cm, 表层水平流速沿水深基本呈线性变化。供气量不同, 下部入流层的速度剖面呈现明显不同。当出气量为 30 L/min 时, 入流最大水平速度出现在 30 cm 水深附近, 约为 5 cm/s; 当出气量为 40 L/min 时, 入流最大水平速度则出现在 20 cm 水深处; 当出气量为 50 L/min 时, 入流最大水平速度约为 7.5 cm/s; 而当出气量为 60 L/min 时, 入流最大水平速度约为

8.3 cm/s,出现在 30 cm 水深处。3.0d 位置表层水平流速明显小于 1.5d 位置,3.0d 位置入流最大流速不到 1.5d 处的一半。另外,出气量为 30 L/min 时,4.5d 处表层水平流速几乎为零,而当供气量翻倍后,该断面最大水平速度不超过 5 cm/s。也可以看出,当出气量小于 50 L/min 时,气幕对 6d 断面基本无影响;在该断面位置,当供气量为 60 L/min 时,气幕产生的最大表层水平流速也仅为 2 cm/s。综合分析可以得出,当气幕出气量为 30 L/min 时,气幕产生的环流长度不会超过 4.5d;当出气量小于 60 L/min 时,气幕的影响范围不会超过 6d。

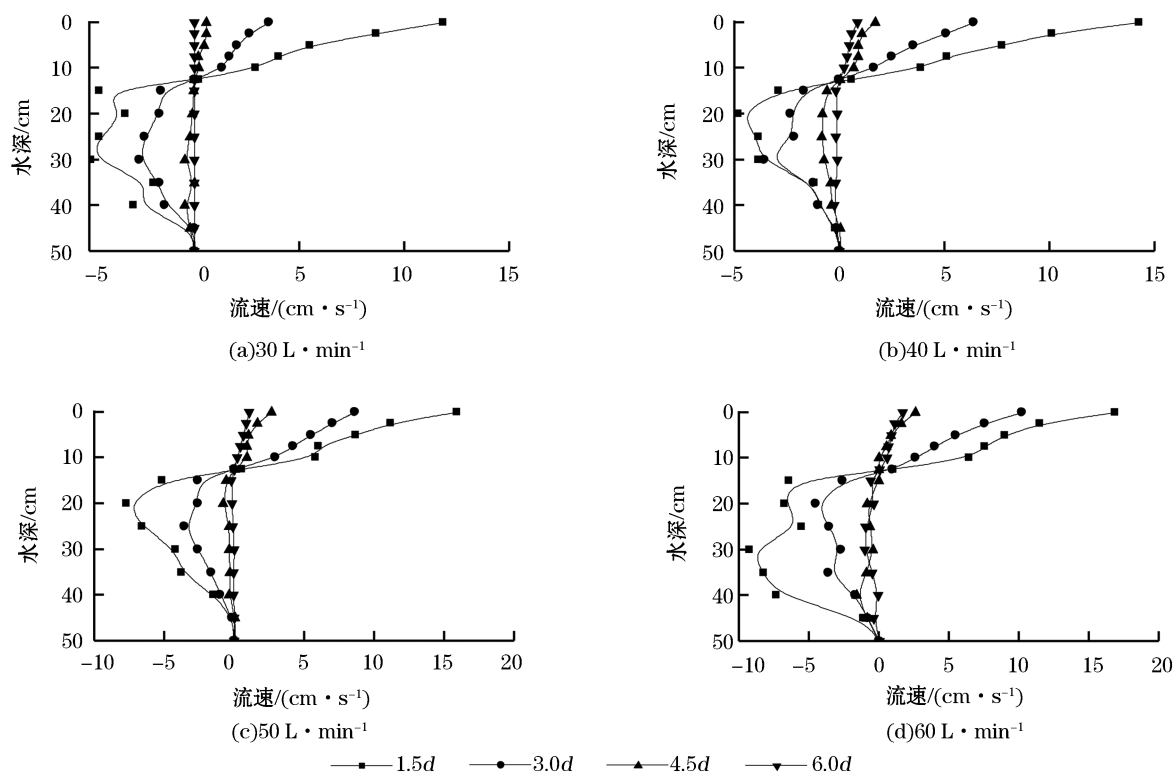


图 5 不同供气量下的断面水平流速

Fig.5 Horizontal flow velocity along the sections with different air supply

图 6 为 30 和 60 L/min 两种供气量下不同气孔密度曝气管(图中气孔密度为平均值,分别为 1 500 个/m 和 2 550 个/m)产生的垂向流速分布。可以看出,曝气管孔密度(气泡直径)对羽流强度影响较小,供气量是影响流场分布的关键因素。

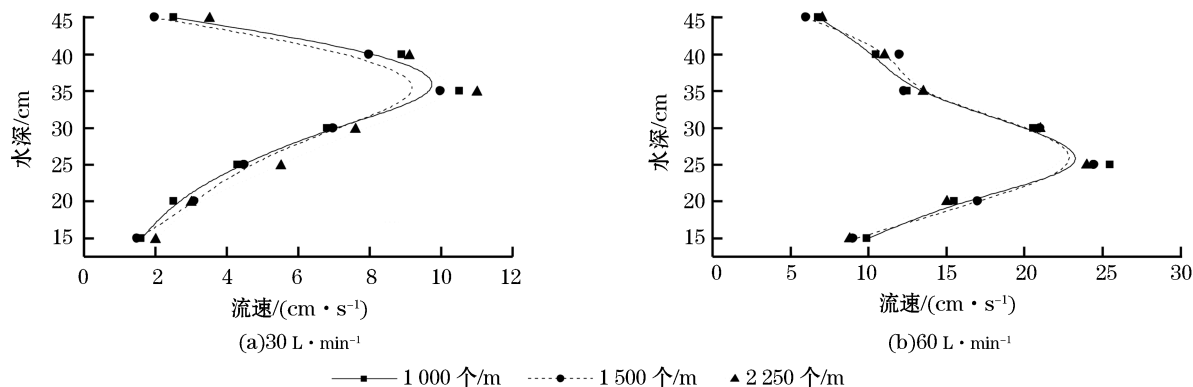


图 6 孔密度对气幕中心垂向流速的影响

Fig.6 Influence of hole density on vertical velocity at the center of the bubble curtain

2.2 浑水异重流

试验前,先配置质量浓度为 1 g/L 的高岭土浑浊液约 $1.5 \times 10^3 \text{ L}$,通过潜水泵注入到水槽中,浑水流量控制在 0.7 L/min 左右,以保证浑水注入时间达到 30 min 以上。该注入流量产生的断面平均流速仅为 0.07 cm/s ,远小于气幕产生的水平流速,故可以模拟细颗粒在静水中扩散。浑水将在气幕上游 10 倍水深距离处注入,以保证高岭土颗粒接近气幕前在整个断面上分布均匀。为检验气幕拦污效果,试验将先测量无气幕时气幕下游 $6d$ 和 $12d$ 断面质量浓度时程变化。这里规定浑水前锋抵达气幕中心的瞬间为零时刻。为了得到水体高岭土颗粒质量浓度,先通过浊度仪获得水体浊度值,再从图 2 中查找相应的值。

2.2.1 1 250 目高岭土

1 250 目颗粒的粒径约为 $10 \mu\text{m}$,属于粉沙范围。从图 7 可以看出, $6d$ 和 $12d$ 两个断面的质量浓度随时间逐渐增加,且质量浓度随水深增加而增大,大部分颗粒位于 20 cm 深度以下。在 $6d$ 和 $12d$ 位置, 30 min 内,断面质量浓度垂向分布无法达到稳定, 30 min 时 2 个断面最大质量浓度分别为 0.143 、 0.128 g/L 。比较 2 个断面质量浓度剖面时程变化, 15 min 内,浑水到达 12 倍水深距离断面,可以估算浑水移动速度约为 0.4 m/min 。

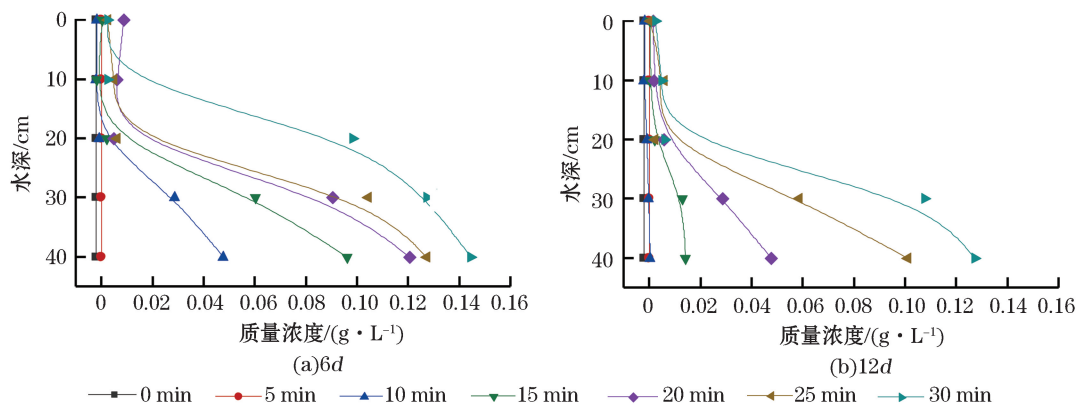


图 7 浑水异重流沿程变化(1 250 目高岭土)

Fig.7 Variations of the turbid density flow along the flume (1 250 mesh kaolin)

2.2.2 4 000 目高岭土

与 1 250 目颗粒比较,由于 4 000 目高岭土颗粒更细,其粒径约为 $4 \mu\text{m}$,按照泥沙颗粒分类,属于淤泥的范畴,因此,更易悬浮在水中,不宜沉降。图 8 给出了无气幕时,气幕下游 $6d$ 和 $12d$ 断面在不同时刻的质量

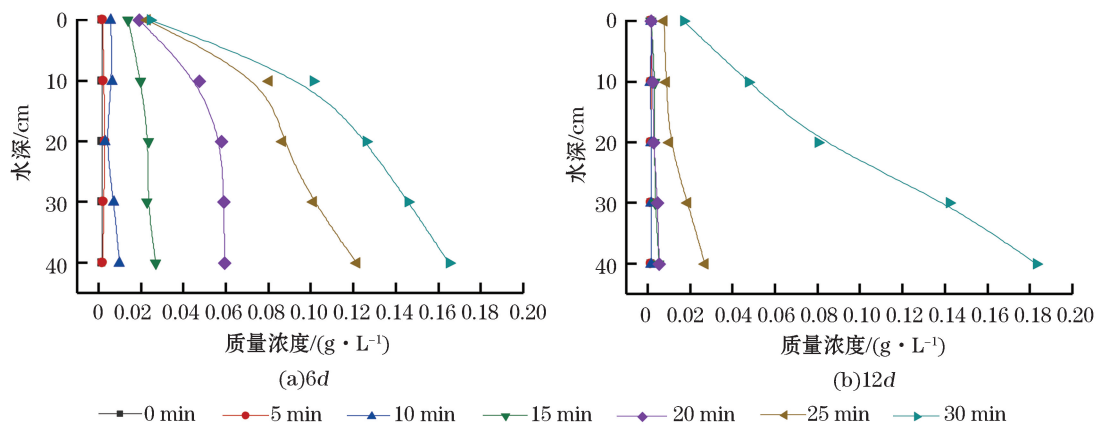


图 8 浑水异重流沿程变化(4 000 目高岭土)

Fig.8 Variation of the turbid density flow along the flume (4 000 mesh kaolin)

浓度剖面。由分析结果可以看出,相当部分的颗粒悬浮在水体上层,未出现明显的清水与浑水分层现象,细颗粒以扩散的形式向下游移动,浑水前锋随时间推移变得平缓。浑水的移动速度约为 0.24 m/min , 30 min 后, $12d$ 断面底部最大质量浓度达到 0.182 g/L 。从上述试验可以看出,相同质量浓度的浑水因悬浮颗粒大小不同而呈现不同的运动特征,颗粒小的浑水移动更慢。

2.3 气幕拦污

存在气幕时,高龄土颗粒在气幕羽流的作用下进入水体上层,气幕两侧水体浊度相差明显。细颗粒在气幕外侧环流作用下,加速向气幕靠近,进入气幕羽流后,便迅速上升,除小部分进入气幕另一侧外,大部分颗粒在表层逆向水流的作用下,远离气幕,随着时间推移,越来越多的颗粒进入气幕上游侧环流,造成上游侧水体浊度明显增加,气幕两侧的质量浓度梯度进一步加大。而透过气幕进入下游的细颗粒也会在向上羽流作用下来到表层,并在下游侧环流的作用下,沿水深均匀分布。比较有无气幕时浑水输移过程(图 9)可见,气幕两侧浊度差异显著。



图 9 有无气幕时浑水输移比较

Fig.9 Comparison between the muddy water transport with and without the bubble curtain

2.3.1 1 250 目高岭土

由图 10a 可见, 25 min 内, $6d$ 位置的质量浓度剖面基本保持垂直直线。细颗粒进入气幕下游后,会在环流作用下沿水深均匀分布。环流的范围与出气量大小有关,因此,浑水均匀分布的范围也与出气量有关。由图 10b 可见,由于出气量为 30 L/min 的气幕的环流范围达不到 $12d$ 位置,当细颗粒进入气幕下游一侧后,水体质量浓度持续增加,当质量浓度达到一定值后,浑水会以异重流的形式移动,细颗粒随之移动到水槽下层,故 30 min 后, $12d$ 断面表层质量浓度几乎为 0。

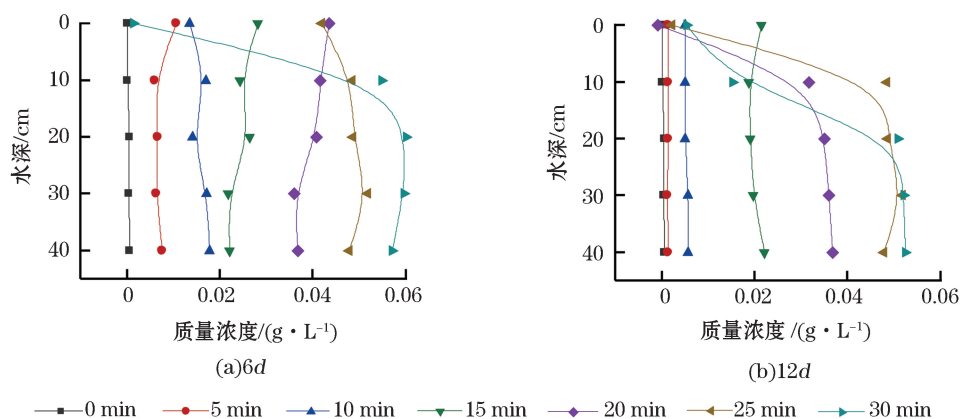


图 10 供气量 $30 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 时断面质量浓度时程变化(1 250 目高岭土)

Fig.10 Time-course variation of the concentration along the section at the air supply of $30 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (1 250 mesh kaolin)

随着出气量的增加,浑水均匀分布的范围也越长。由图 10b 可见,出气量为 30 L/min 时,20 min 后,12 倍水深距离断面便出现表层质量浓度为零的现象,而当出气量翻倍后,该断面在 30 min 后的质量浓度剖面仍为笔直的垂线(图 11b)。比较图 10 和图 11,在前 15 min 内,断面平均质量浓度随着出气量的增加而增大,这是由于气幕的雷诺数的增加,造成更多颗粒在紊流作用下进入到气幕下游。

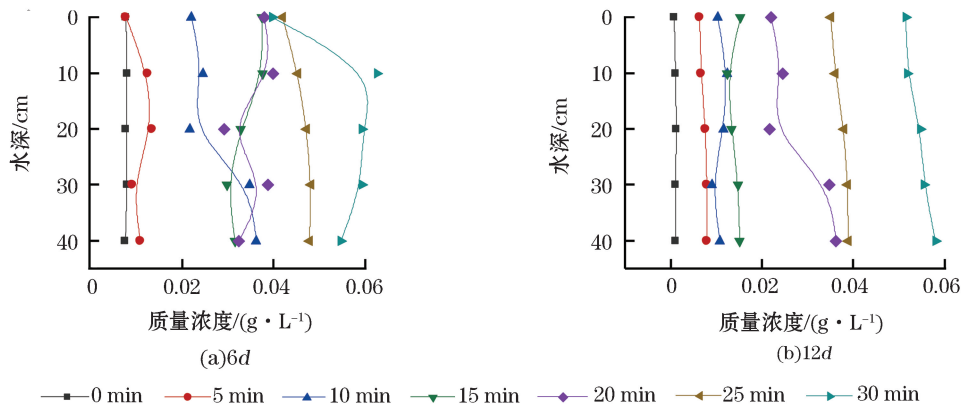


图 11 供气量 $60 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 时断面质量浓度时程变化(1 250 目高岭土)

Fig.11 Time-course variation of the concentration along the section at the air supply of $60 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (1 250 mesh kaolin)

图 12 给出了 5 种供气量下不同断面平均质量浓度的时程变化,可以看出,对于富含 1 250 目颗粒的浑水,出气量低于 60 L/min 气幕拦截效果不显著。其原因主要是该浑水中颗粒粒径较大,气幕无法在细颗粒从底部进入气幕并达到气幕中心的时间内,将细颗粒全部携带至水体上层。

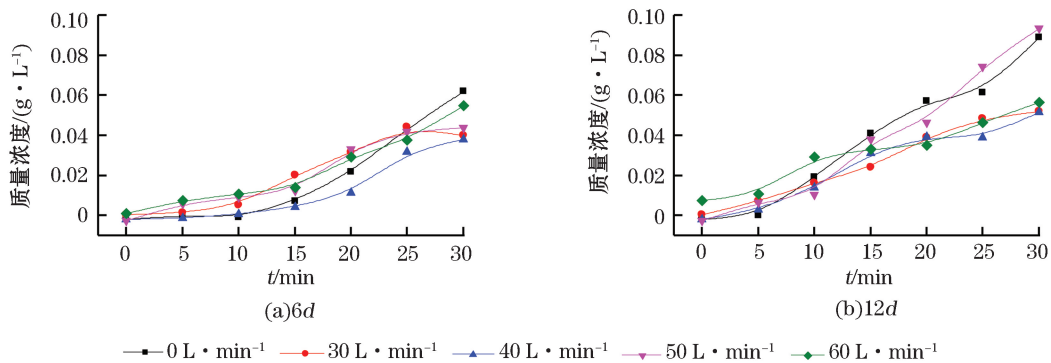


图 12 有气幕时不同断面平均质量浓度时程变化(1 250 目)

Fig.12 Time-course variation of the mean concentration along different sections under the case of air curtain (1 250 mesh kaolin)

2.3.2 4 000 目高岭土

从图 13 和图 14 可以看出,进入下游的颗粒均匀分布于水柱中,由于其粒径更小,30 min 后,在 6d 和 12d 断面仍基本保持质量浓度沿水深一致。在浑水区域,越靠近气幕,质量浓度越大,在 30 L/min 的供气量下,12d 断面的质量浓度值仅为 6d 断面的 $3/4$ 。随气幕出气量增加,进入气幕下游的颗粒数量并未减少,反而有所增加。

图 15 给出了 4 种供气量下不同断面平均质量浓度的时程变化,可以看出,虽然气幕存在会导致进入气幕下游的颗粒加快扩散,但气幕的拦截作用,更多的高岭土颗粒留在气幕上游一侧,30 min 后,4 个断面的质量浓度仅为无气幕时的一半。试验说明,对于 4 000 目颗粒的浑水,出气量小于 60 L/min 的气幕也具有良

好的拦截效果。

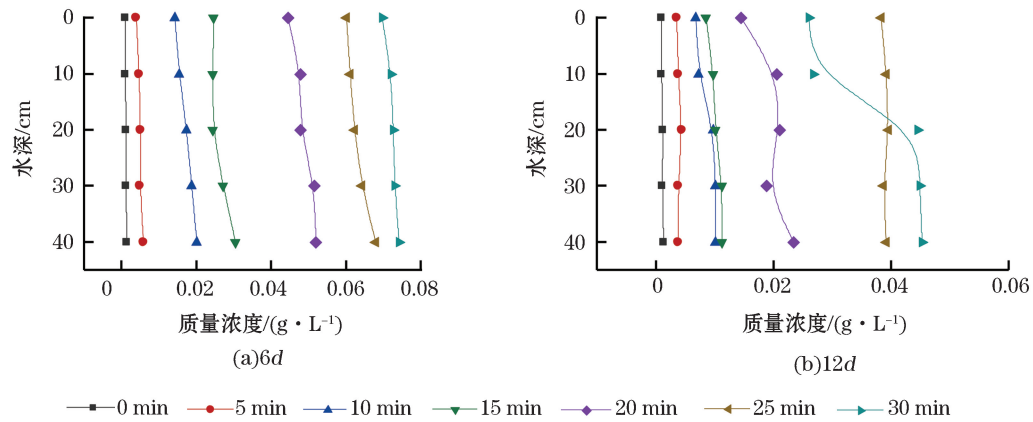


图 13 供气量 $30 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 时断面质量浓度时程变化(4 000 目高岭土)

Fig.13 Time-course variation of the concentration along the section at the air supply of $30 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (4 000 mesh kaolin)

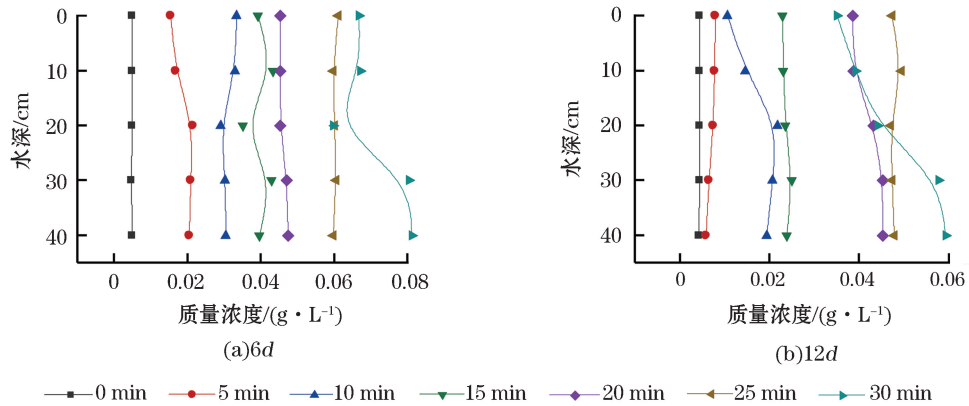


图 14 供气量 $60 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 时断面质量浓度时程变化(4 000 目高岭土)

Fig.14 Time-course variation of the concentration along the section at the air supply of $60 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ (4 000 mesh kaolin)

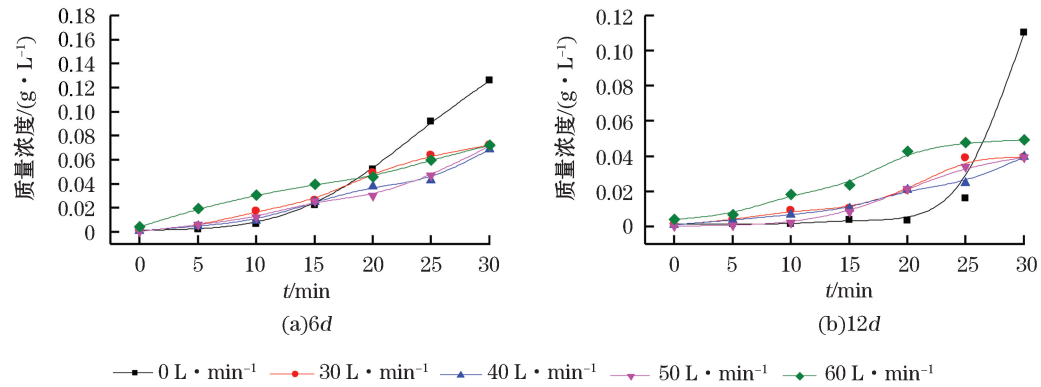


图 15 有气幕时不同断面平均质量浓度时程变化(4 000 目高岭土)

Fig.15 Time-course variation of the mean concentration along different sections under the case of air curtain (4 000 mesh kaolin)

3 结 语

本文通过气体压缩机连接不同气孔密度的曝气管产生稳定可控气幕,采用高岭土配置不同颗粒粒径的污水,开展了气泡羽流、浑水异重流以及气泡帷幕拦浑一系列室内试验。试验结果表明:

①气泡帷幕产生向上羽流可将泥沙携至表层,改变污水输运方式,并通过表层水平流将泥沙驱离。

②当气幕供气量小于 60 L/min 时,气泡帷幕所产生的环流范围约为 6 倍试验水深。

③气幕的拦截效果与供气量有关,也与细颗粒的性质有关。具体来说,当气泡羽流速度与颗粒沉速之比足够大,气幕便具备良好拦截效果。但供气量增加到一定量后,更多泥沙会经紊动扩散穿过气幕,降低气幕拦截效果。

本文结果对气幕拦污实际工程具有重要指导意义;但本文的研究是在静水条件下进行,与实际工程条件还有一定的差别,建议进一步研究动水条件下气幕的拦污效率。

参考文献(References):

- [1] OGILVIE J, MIDDLEMISS D, LEE M, et al. Silt curtains: a review of their role in dredging projects[C]// The Proceedings of CEDA Dredging Days. Abu Dhabi: CEDA, 2012.
- [2] CUTRONEO L, VAN DER GOOT F, ROELS A, et al. A check on the efficiency of an air-bubble screen using acoustic measurements and an artificial tracer[J]. Journal of Soils and Sediments, 2014, 14(9): 1626-1637.
- [3] WU F L, TSANG G. On bubble plumes research[J]. Journal of Hydrodynamics, 1989, 4(1): 104-111. 吴凤林, TSANG G. 关于气泡羽流的研究[J]. 水动力学研究与进展. 1989, 4(1): 104-111.
- [4] XU T, WANG X, GUO W, et al. Numerical simulation of the hydrodynamic behavior of a pneumatic breakwater[J]. Ocean Engineering, 2019, 180: 108-118.
- [5] FUJITA I. Bubble curtain for blocking spilled oil on water surface[C]//The Proceedings of 2016 Techno-Ocean. Kobe: IEEE, 2016.
- [6] OLDEMAN A M, KAMATH S, MASTEROV M V, et al. Numerical study of bubble screens for mitigating salt intrusion in sea locks [J]. International Journal of Multiphase Flow, 2020, 129: 103321.
- [7] THIJSEN J, TALIMI V, THODI P, et al. De-icing using linear aeration systems: laboratory test program and model development [C]// The Proceedings of the 25th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. Delft: Delft University of Technology, 2019: 130-141.
- [8] BOEGMAN L, SLEEP S. Feasibility of bubble plume destratification of Central Lake Erie[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 138(11): 985-989.
- [9] BOHNE T, GRIEMANN T, ROLFES R. Modeling the noise mitigation of a bubble curtain[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2019, 146(4): 2212-2223.
- [10] BETNEY M R, TULLY B, HAWKER N A, et al. Computational modelling of the interaction of shock waves with multiple gas-filled bubbles in a liquid[J]. Physics of Fluids, 2015, 27(3): 94-98.
- [11] ZIELINSKI D P, SORENSEN P W. Bubble curtain deflection screen diverts the movement of both Asian and common carp[J]. North American Journal of Fisheries Management, 2016, 36(2): 267-276.
- [12] DE NEKKER J, KNOL J. Results of experiments with air-bubble screen against siltation in Rotterdam harbor[C]// The Proceedings of the 5th International Harbor Congress. Antwerp Belgium: Royal Flemish Society of Engineers, 1968.
- [13] PHILIPS J B. Research to determine the effectiveness of the air bubbler system[R]. Washington DC: Grays Harbor Community College, 1973.
- [14] CHRISTIANSEN H, KIRBY R. Fluid mud intrusion and evaluation of a passive device to reduce mud deposition[C]// Proceeding of CE-DA-PIANC Conference on Accessible Harbors. Brussels Belgium: International Navigation Association, 1991.
- [15] CHAPMAN J E, DOUGLAS W S. Evaluation of a berth sedimentation control technology in the Kill Van Kull: the AirGuardTM pneumatic barrier system[C]// The Proceedings of the 3rd Specialty Conference on Dredging and Dredged Material Disposal. Orlando Florida USA: ASCE, 2002.
- [16] DUGUÉ V, BLANCKAERT K, CHEN Q, et al. Reduction of bend scour with an air-bubble screen-morphology and flow patterns[J].

- International Journal of Sediment Research, 2013, 28: 15-23.
- [17] DUGUÉ V, BLANCKAERT K, CHEN Q, et al. Influencing flow patterns and bed morphology in open channels and rivers by means of an air-bubble screen[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2015, 141(2): 04014070-1-04014070-13.
- [18] CHAMPAGNE T M, BARKDOLL B D, GONZALES-CASTRO J A, et al. Scour reduction by air injection: flow patterns and turbulence[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 142(3): 06015023-1-06015023-4.
- [19] CHAMPAGNE T M, BARLOCK R R, GHIMIRE S R, et al. Scour reduction by air injection downstream of stilling basins: optional configuration determination by experimentation[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2016, 142(12): 04016067-1-04016067-9.
- [20] TIPIREDDY R T R, BARKDOLL B D. Scour reduction by air injection at a cylindrical bridge pier: experimental determination of optimal configuration[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2019, 145(1): 06018016-1-06018016-4.
- [21] LI Z, CHEN L, CHEN X Y, et al. Formation of bubble curtain and prevention of diffusion characteristics of suspended solids under ocean current[J]. Yangtze River, 2019, 50(9): 146-152. 李智, 陈林, 陈熙宇, 等. 水流作用下气泡帘的形成及防悬浮物扩散特性[J]. 人民长江, 2019, 50(9): 146-152.

An Experimental Study on the Efficiency of Bubble Curtain Intercepting Turbid Water

CHANG Cong-cong¹, ZHAI Jian-Guo², HUANG Xiao-yun^{1,3}, HUANG Rui-qi¹

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410114, China;

2. CCCC Wuhan Harbour Engineering Design and Research Co. Ltd, Wuhan 430040, China;

3. Key Laboratory of Water and Sediment Science and Water Disaster Prevention of Hunan Province, Changsha 410114, China)

Abstract: To evaluate the effect of bubble curtain intercepting turbid water, experiments of bubble plume, turbid density flows and air curtain intercepting contaminants are carried out in the laboratory. Under the case of constant water depth in the experiments the flow field produced by the air curtain plume is measured and analyzed, the influence of the air curtain on the transport mode of muddy water is studied and the affection of the air supply on the interception efficiency of muddy water is analyzed. The results show that the velocity of the bubble plume is related to the air supply. When the air supply is less than 60 L/min, the length of the circulation current generated by the air curtain is about 6 times the water depth. The air curtain can make the fine particles of the sediment come to the surface under the action of the upward plume and be distributed uniformly along the water depth under the action of the downstream side circulation. The effect of the air curtain intercepting the turbid water is related not only to the air supply, but also to the particle size of the sediment. When the ratio of the bubble plume velocity to the sediment settling rate is higher enough, the air curtain can have a good interception effect. When the air supply increases to a certain amount, more sediment particles can pass through the air curtain in the way of turbulent diffusion. The experimental study and analysis of the bubble curtain intercepting the contaminants are also carried out, which makes up for the shortcomings of the study in the aspect of experiments and provides support and guidance for the engineering application of the bubble curtain intercepting the contaminants.

Key words: bubble curtain; plume; turbid density flows; intercepting turbid water; lab experiment

Received: May 25, 2021