

绞吸式清淤与气力泵式清淤效果比较研究

孙景昱¹, 刘建刚¹, 恽文荣², 高嘉蔚³

(1. 常州市武进区水利综合管理服务中心, 江苏 常州 213100;
2. 常州市武进区水利局, 江苏 常州 213100; 3. 江苏省水资源服务中心, 江苏 南京 210029)

摘要:以太湖竺山湖清淤工程中的气力泵清淤与绞吸式清淤施工为对象, 分析清淤工程中2种船型对周围水体的悬浮物、总磷、总氮以及氨氮等指标的影响, 比较分析了绞吸式与气力泵清淤船清淤中余水污染物以及含水率质量浓度变化趋势, 研究了2种船型清淤后对底泥界面层结构的影响。结果表明, 气力泵清淤船扰动距离、扰动强度均小于绞吸式清淤船, 气力泵式清淤中淤泥含固率较高, 余水量小, 对底泥界面层结构影响小。

关键词:绞吸式; 气力泵式; 底泥清淤; 悬浮物质量浓度; 水质

中图分类号: TV851 文献标识码: B 文章编号: 1007-7839(2024)12-0007-0006

Comparative study on the desilting effects of cutter suction and pneumatic pump

SUN Jingyu¹, LIU Jiangan¹, YUN Wenrong², GAO Jiawei³

(1. Changzhou Wujin District Water Conservancy Comprehensive Management Service Center, Changzhou 213100, China; 2. Changzhou Wujin District Water Resources Bureau, Changzhou 213100, China; 3. Water Resources Service Center of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

Abstract: Taking the pneumatic pump dredging and cutter suction dredging construction in the dredging project of Zhushan Lake in the Taihu Lake as the object, the influence of two ship types in the dredging project on the suspended solids, total phosphorus, total nitrogen, ammonia nitrogen and other indicators of the surrounding water body was analyzed, and the change trend of residual water pollutants and water content mass concentration in the dredging of cutter suction and pneumatic pump dredgers was compared and analyzed, and the influence of two types of dredging ships on the bedding structure of the sediment interface layer after dredging was studied. The results showed that the disturbance distance and intensity of the pneumatic pump dredging ship were smaller than those of the cutter suction dredging ship. The solid content of the sludge in the pneumatic pump dredging was higher, the residual water was smaller, and the impact on the interface layer structure of the sediment was smaller.

Key words: cutter suction type; pneumatic pump type; sediment dredging; suspended solids mass concentration; water quality

底泥(或沉积物)是污染物的主要蓄积地, 约90%左右的湖泊污染物储存于此。当外源污染物得到有效控制后, 底泥持续的释放仍是湖泊水质得不到有效改善的根本原因。因此, 开展湖泊底泥的治理十分必要。

国际上河湖底泥治理的常用手段是依靠大型疏挖器械清淤表层污染底泥, 从而达到降低内源释放强度的目的。按照类型划分, 疏挖器械主要包括气力泵式、绞吸式、斗轮式、抓斗式等。为降低清淤过程中对水体的扰动以及提高表层污染底泥的清

收稿日期: 2024-09-04

作者简介: 孙景昱(1991—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事水利工程建设及水环境整治工作。E-mail: 657727652@qq.com

除效率,我国大型河湖底泥清淤普遍采用环保绞吸式挖泥船。该种船型在清淤作业过程中,依靠环保刀头上的防护罩可缩短清淤工程中悬浮泥颗粒物的扩散距离。此外,在清淤施工过程中应根据淤泥的底泥质地控制环保刀头的扰动强度,亦可以减少施工过程中对水体的扰动。依靠水下密封式的淤泥输送管线,将淤泥输送至沉淀池或淤泥固化设备及装置中,实现全过程的环保清淤。

近些年来,随着清淤器械的发展,国际上涌现出气力泵式清淤方式。气力泵式清淤较为适合深水(≥ 5 m),由于水体压力较小,受气动泵进泥结构和进泥方式(进泥不连续)的影响,水底淤泥压入气动泵的速度会显著降低,清淤效率变差。新近发明的浅水负压气动吸泥泵清淤系统,是以负压泵作为底泥清淤的抽吸动力装置,以空压机作为底泥清淤的输送动力装置,水底淤泥被负压泵吸入水底吸泥器泵体后(泥浆暂存池),再通过高压气体排出,从而完成一次清淤过程。上述过程不断循环,就可实现连续施工。

为比较传统绞吸式以及浅水负压型气力泵在浅水湖泊中的清淤扰动、淤泥清除效率以及底泥界面层理结构影响(或残留程度)等方面的差异。本文以太湖新一轮清淤竺山湖一期区域为对象,分析绞吸式清淤船、气力泵式清淤船在施工过程中对水体的扰动情况、淤泥含固率及清淤效率以及清淤施工过程对底泥界面层理的扰动(或残留程度)情况,以期以太湖新一轮清淤提供参考^[1-3]。

1 材料与方法

1.1 研究区域

竺山湖位于太湖西北部,为半封闭型湖湾,湖东是连绵的丘陵山区,以自然的山体为湖岸线^[4]。湖泊水面积 68.3 km^2 ,为太湖总面积的2.9%;湖底高程 $1.0\sim 1.5\text{ m}$ 。进一步削减太湖内源污染,保障区域水生态安全,提升太湖水质,常州市武进区率先在江苏开展新一轮太湖清淤工程,清淤区域主要为竺山湖湖区,底泥疏浚量约 500.4 万 m^3 ,计划分3年实施。一期清淤 151 万 m^3 ,位于竺山湖北侧 3.74 km^2 的区域,清淤平均深度为 30 cm 。

1.1.1 绞吸式与气力泵船型施工过程监测方法

绞吸式船施工过程中,于距离350型船的左侧、正前方以及200型船的右侧、正前方,分别在 5 m 、 10 m 、 15 m 、 20 m 、 30 m 和 50 m 的不同距离处采集水样。测水样总氮、总磷、氨氮和悬浮物质量浓度,以

监测施工过程中对水体的扰动程度。

在气力泵船的施工期间,于距离其尾部左侧、中部及右侧的不同位置,分别在 5 m 、 10 m 、 15 m 、 20 m 、 30 m 和 50 m 处采集水样。随后,对水样中的总氮、总磷、氨氮及悬浮物质量浓度进行分析,以评估施工活动对水体环境造成的扰动程度。

1.2 数据来源及分析

1.2.1 数据来源

数据主要以实际施工监测数据为主。

1.2.2 数据分析

文中清淤区域的绘制使用ArcGIS软件完成;原始数据处理使用Excel软件完成;折线图及柱状图的绘制使用Origin2017软件完成。

2 结果与讨论

2.1 绞吸式与气力泵式对水体扰动比较

武进太湖竺山湖底泥清淤主要采用环保绞吸式挖泥船,具体包括200型和350型(含义为理论上可达到 $200\text{ m}^3/\text{h}$ 和 $350\text{ m}^3/\text{h}$)。通过对武进太湖竺山湖绞吸式挖泥船的工作原理以及作业方式进行调查研究,发现刀头的绞吸转动主要分为二档,二档的高转速,而一档为常规作业转速。正常作业工作下,开动一档即可完成淤泥的疏挖。当遇到底泥较为密实或土层较硬时,则需要开动二档。

对武进太湖竺山湖不同清淤船型绞吸作业的水质进行取样分析,距离较刀头不同距离(5 m 、 10 m 、 15 m 、 20 m 、 30 m 和 50 m)的各水质参数如图2所示。350型和200型绞吸式清淤船清淤作业时不同距离总氮的波动规律基本类似,均值随着距离较刀头采样距离的增加而逐渐的减少。从2种船型清淤作业的扰动情况来看,在不同方位的扰动强度亦有所不同。350型号和200型号绞吸式挖泥船均是表现在正前方的扰动要略大于左侧或者右侧。水体总氮的质量浓度在不同距离表现出一定的波动性,质量浓度介于 1.6 mg/L 至 1.8 mg/L 之间。从总氮的波动距离来看,绞吸式200型和350型的扰动距离不超过 50 m 。

从200型和350型清淤作业距离较刀头的不同距离总磷质量浓度来看,其质量浓度均超过 0.05 mg/L 。水体总磷质量浓度与水体浑浊程度具有一定的关联性,水体的悬浮物(SS)质量浓度越高,越会导致水体总磷质量浓度的升高。从2种型号的绞吸扰动距离来看,在采样期间,水体扰动距离均未超过 50 m ,与刀头 5 m 处相比,扰动距离在 15 m 或 20 m

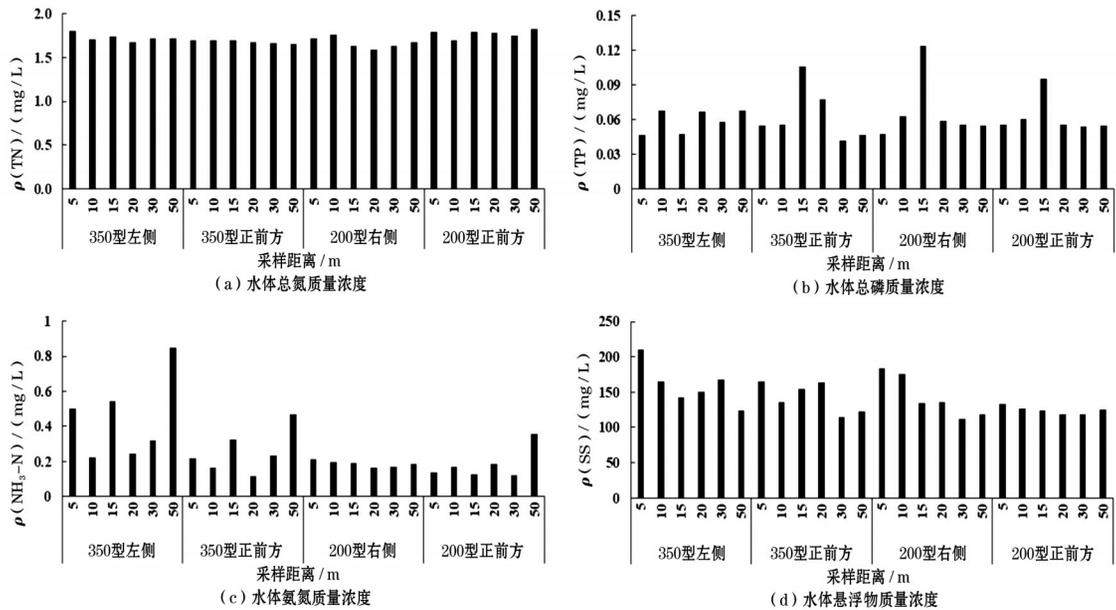


图2 200型与350型绞吸式挖泥船清淤作业时不同距离水质情况

出现极值。从不同距离水体中的硝态氮以及氨态氮质量浓度来看,不管采样距离如果变化,上述指标的质量浓度始终小于1.0 mg/L,亦未对水体硝态氮或者氨态氮的质量浓度产生影响。

不同扰动距离水体中悬浮物质量浓度如图2(d),从水体的悬浮物质量浓度来看,其距离刀头不同距离的浊度具有一定的规律性。在清淤施工期间,水体中的悬浮物质量浓度普遍超过了100 mg/L。从350型号和200型号的比较结果来看,350型号清淤船施工时周边水体的悬浮物质量浓度普遍要高于200型号绞吸式清淤船。在50 m的范围内,350型号清淤船的左侧悬浮物质量浓度均值为160 mg/L,而200型号左侧悬浮物质量浓度均值为143 mg/L。350型号正前方50m范围内悬浮物质量浓度均值为142 mg/L,而200型正前方悬浮物质量浓度均值为124 mg/L。上述调查数据表明350型号清淤施工时的扰动要大于200型号。

与绞吸式清淤船清除湖底淤泥的作业方式不同,气力泵主要依靠泵体负压的控制来吸除表层底泥,其对清淤深度的控制是通过清淤船体后拽的槽式吸泥装置预埋于一定深度的底泥中,随后通过前方的动力牵引逐渐前进,实现底泥的清淤。因此,理论上来说,气力泵清淤对水体的扰动强度以及距离应小于靠刀头旋转清淤表层淤泥的绞吸式清淤船。

从对气力泵不同方位以及不同距离的水体扰动参数监测数据来看,其对水质以及水体的悬浮物质量浓度均影响较小。在气力泵清淤作业时的水

体悬浮物质量浓度检测数据来看,其扰动距离不超过10 m,且可能仅在吸泥泵5 m范围左右产生微弱的影响。这可能与槽式吸泥装备进泥口处的动力强度有关,在负压装置开动时,其周围水体会迅速涌入管道,造成周围水体短期内产生湍流,并在随后的清淤正常化后逐步稳定。

从气力泵不同距离水体中的氮形态(氨氮及总氮)的质量浓度来看,气力泵清淤作业过程中对氮的影响几乎可以忽略,这与绞吸式清淤对水体氮的扰动情况基本类似。这一方面由于太湖水体本身氮的质量浓度就较低,另外一方面可能是由于水体氮的质量浓度与水体的扰动强度关联度较小。

从水体总磷的质量浓度来看,在距离气力泵不同距离的质量浓度基本无波动(除5 m处总磷质量浓度略高外)。以上水质以及水体悬浮物质量浓度的监测数据表明,气力泵清淤作业过程中对水体的扰动程度较小,优于绞吸式清淤船作用过程中对水体的扰动程度。

2.2 绞吸式与气力泵式清淤余水以及含固率比较

武进太湖竺山湖使用的气力泵清淤,且清淤后的泥浆直接进入固化处理设备后再输入土工管袋中进行絮凝沉降。在清淤接力泵(即图3中的气力泵前段)采集清淤泥浆,分析了泥浆的质量浓度(即1 L清淤泥浆中含有干物质的泥浆质量浓度)和含固率(即泥浆体系中泥的干重占泥浆总质量)。此外,也分析了清淤泥浆中的水质(总氮、总磷、氨氮、硝氮以及磷酸根)参数(图4)。从监测的数据来看,气

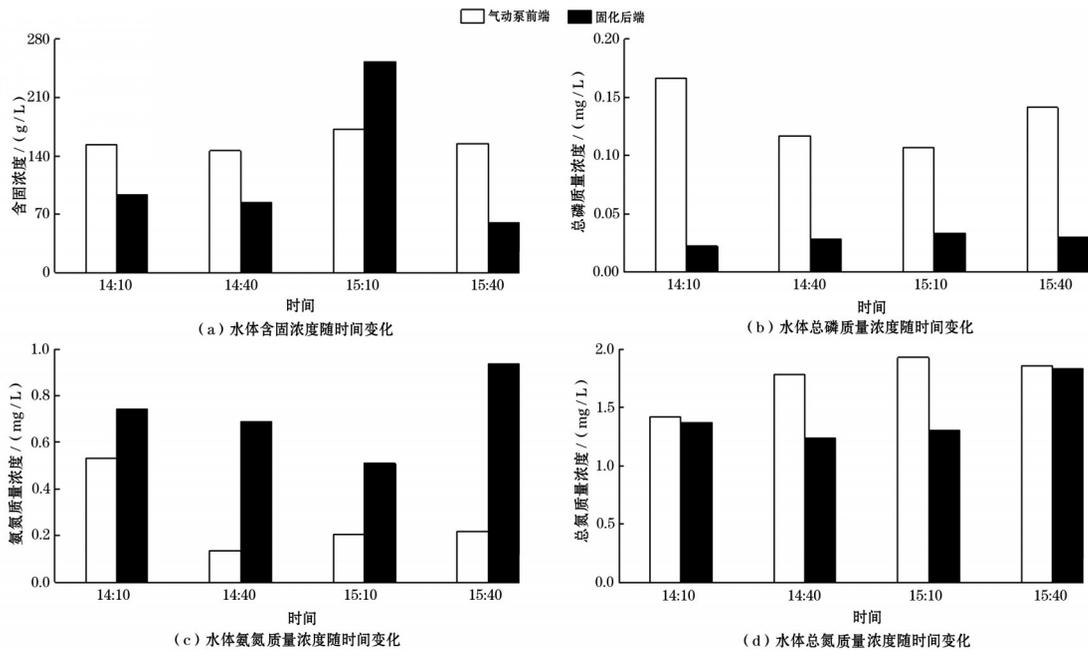


图3 气力泵清淤船清淤作业过程中的水质、泥浆含固率以及固化后端参数变化

力泵清淤过程中泥浆的质量浓度为146~198 mg/L, 均值为165 mg/L。较高的泥浆质量浓度利于后续絮凝的处理, 尤其适合于泥浆需求质量浓度较大的板框压滤等工艺的结合。由于清淤泥浆中的氮磷等指标与清淤区域、水质现场等密切相关, 仅仅关注泥浆中氮磷质量浓度并无意义。泥浆经过固化后, 水质波动明显, 尤其是溶解性磷和总磷的质量浓度。从数据来看, 总磷经过固结后质量浓度控制在0.03 mg/L以下。

2.3 绞吸式与气力泵式清淤对底泥界面的扰动影响分析

2.3.1 不同清淤船实时作业前后的底泥界面密度以及含水率变化

通过对绞吸式以及气力泵式清淤区域进行实施检测, 分析清淤后底泥层理以及表层底泥含水率的变化趋势。从绞吸式(350型)的清淤前后底泥界面来看(图5), 绞吸式清淤后表层约10 cm底泥层理出现扰动, 非自然沉积层理。从施工强度推测, 绞吸

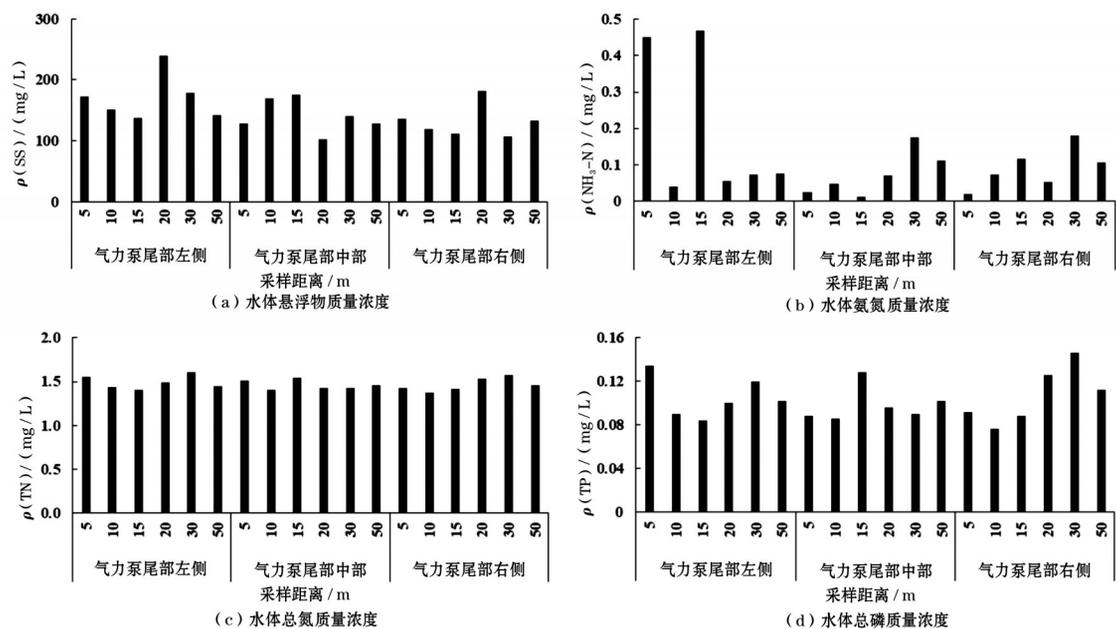


图4 气力泵船清淤作业时不同距离水质变化情况

式刀头在清淤过程中可能会瞬间搅动水体,扰动底泥垂向层位会有部分残留,又重新沉降在底泥表面。



图5 绞吸式(350型)清淤前后底泥界面观察

图6比较了绞吸式与气力泵式清淤后底泥界面的状态,从新生的底泥结构和层理上看,绞吸式清淤后存在一定程度的界面层理扰动,而气力泵式清淤后底泥界面相对较为平整。出现这种底泥界面层位结构,可能与绞吸式与气力泵式的清淤方式有关。绞吸式清淤是利用铰刀头的摆动刮除表层底泥,而气力泵式清淤是吸除清除表层底泥。相比之下,气力泵式清淤产生的底泥界面扰动明显要小。

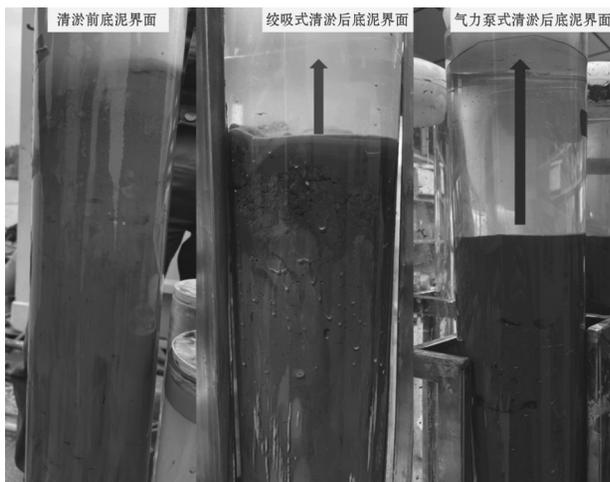


图6 绞吸式(350型)与气力泵式清淤前后底泥界面状态

在自然湖泊中,沉积物(或底泥)颗粒组分以及黏度适中,水分均匀分布于表层底泥中,又称间隙水。随着湖泊初级生产力以及外源污染的不断输入,尤其是有机碳的输入和分解,导致湖泊底泥颗粒之间的自然结构被打破。底泥细颗粒组分持水能力达到饱和,即底泥的容重大幅度下降,产生流泥。该种类型底泥颗粒组分之间黏结力差,极易在水动力扰动下悬浮至上覆水中,对湖泊水质和蓝藻水华暴发的影响极大。

在绞吸式清淤船施工前后,在同样点位采集底

泥柱样,通过分析表层底泥含水率,分析不同清淤方式对表层底泥尤其是流泥的清除效率。从图7可知,清淤前表层底泥密度以及含水率均处于较高的水平。清淤前0~10 cm的底泥柱样中,底泥的密度介于1.0~1.2 g/cm³,含水率在60%~70%左右波动。绞吸式清淤船施工后,0~10 cm底泥的各层位含水率以及密度大幅度下降。除表层0~2 cm底泥的密度接近1.2 g/cm³,含水率在65%左右。2 cm以下底泥至10 cm的底泥中,底泥密度大幅度升高,在1.4~1.6 g/cm³之间,含水率在38%~56%之间。较清淤前表层0~10 cm的密度升高了22.6%,含水率下降了30.5%。

图8为气力泵式清淤前后表层底泥含水变化特征。通过对气力泵式清淤前后表层底泥密度以及含水率分析发现,清淤前表层0~10 cm底泥密度在1.0~1.2 g/cm³波动,含水率基本在60%~70%之间波动。清淤后表层底泥含水率下降至54%,密度升高至1.27 g/cm³。从实时的施工检测分析结果来看,气力泵式清淤对表层底泥的清淤效率略高于绞吸式清淤。

3 结 论

本文以太湖武进竺山湖区域底泥清淤中的环保绞吸式清淤船和气力泵船为对象,全面监测了2种船型施工过程中对水体扰动水质波动、余水等情况,主要结论如下:

(1)350型和200型绞吸式清淤船清淤作业时水体总氮的质量浓度介于1.6~1.8 mg/L之间,总磷质量浓度介于0.054~0.124 mg/L之间,清淤船正前方的扰动强度要略大于左侧或者右侧,随着距离铰刀采样距离的增加而逐渐减少,最远不超过50 m。

(2)气力泵式清淤船对水质以及水体的悬浮物质量浓度均影响较小。扰动距离不超过10 m,且可能仅在吸泥泵5 m范围左右产生微弱的影响。

(3)气力泵式清淤船在扰动距离、扰动强度均小于绞吸式清淤船,气力泵式清淤中淤泥含固率较高,余水量小,对底泥界面层位结构影响小。但是气力泵施工中受排距以及水深等因素的影响,可进一步研究其适宜的水域水情,并逐步推广使用。

参考文献:

- [1] 刘鹏,吴小靖,梁庆华,等. 浅水湖泊生态清淤施工影响分析[J]. 江苏水利,2024(7):6-11.

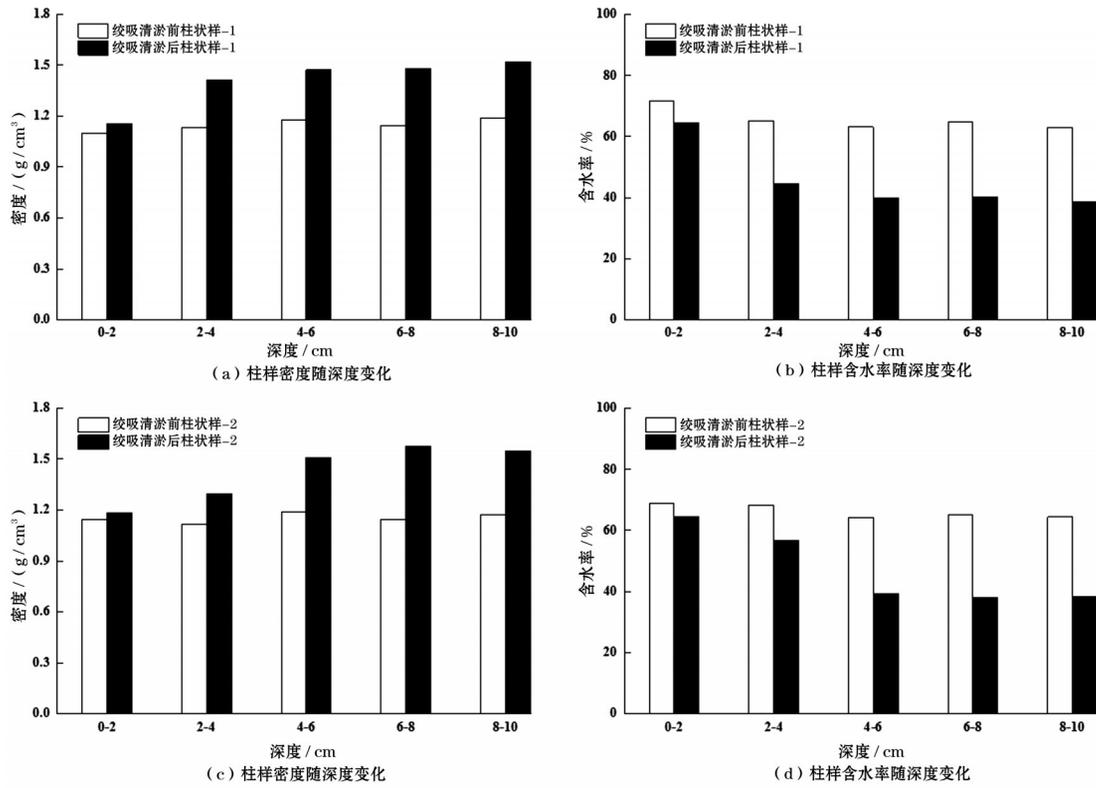


图7 绞吸式清淤前后表层底泥变化情况

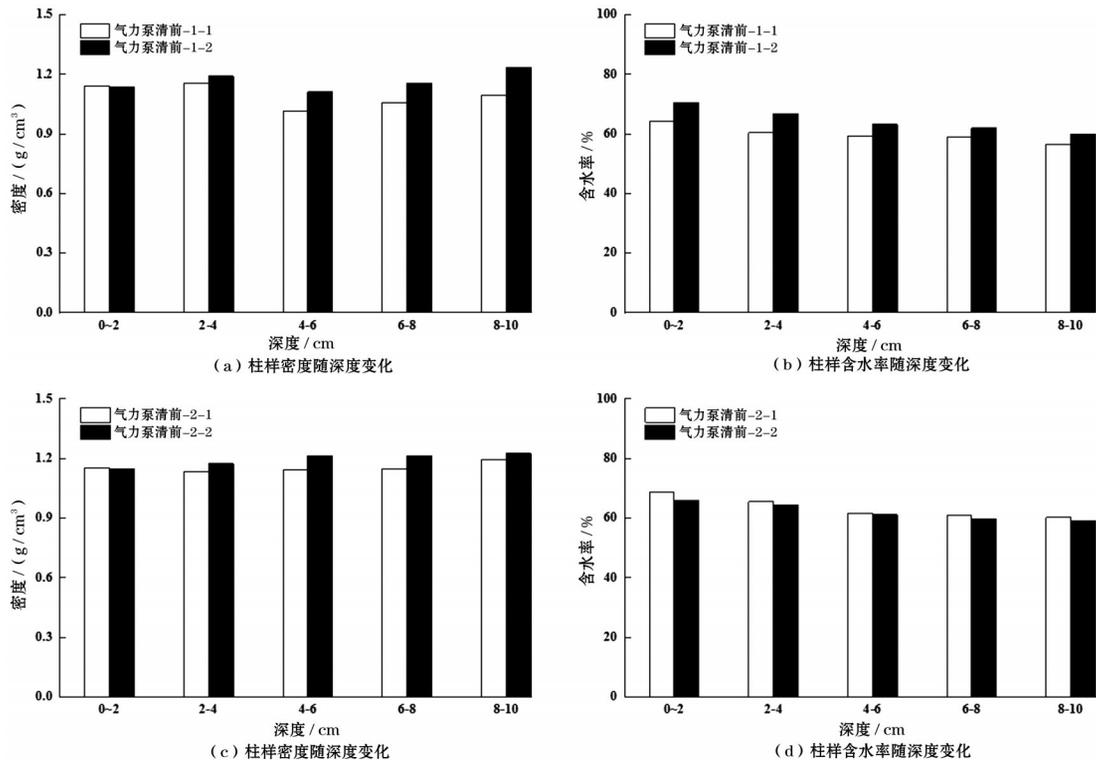


图8 气力泵式清淤前后表层底泥变化情况

[2] 胡晓东, 张建华, 吴沛沛, 等. 基于氮、磷释放的太湖生态清淤时间效应研究[J]. 水利水电技术, 2016, 47(10): 58-61, 72.

[3] 林鹏, 苏子泽, 胡东, 等. 水射流强化疏浚用气力泵提升

性能的试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2023(9): 153-158, 165.

[4] 樊尊荣, 李奇云, 刘歆. 竺山湖清淤工程的生态效益[J]. 江苏水利, 2020(2): 21-24.