

城市黑臭水体清淤疏浚及底泥处理处置技术探讨

彭秀达, 陈玉荣

(三川德青科技有限公司, 湖北 武汉 430206)

摘要:针对不同清淤疏浚工程的施工环境,分析了干式水力冲挖清淤、水上清淤两种方式的利弊及适用范围,并介绍了清淤设备的发展趋势。底泥处置是内源清淤的难点,结合实际施工需求,对底泥处理系统中的除杂除砂、污泥浓缩、污泥干化和尾水处理工艺进行探讨,并重点阐述了底泥堆肥、填方、制陶、制砖等底泥资源化的途径。

关键词:黑臭水体;清淤疏浚;底泥处理处置;资源化

中图分类号:TV851

文献标志码:A

文章编号:1004-6933(2016)S1-0114-04

随着社会经济的发展,因不注重生态环境保护,城市水体黑臭问题逐渐加重,在给城市环境带来不良影响的同时,也对周边居民的健康造成了较大的威胁。所谓水体黑臭,并不是一个科学指标,而是一种生物化学现象^[1],视觉上是指水体呈黑色或泛黑色,嗅觉上是指水体散发出刺激人的嗅觉器官并引起人不愉快或厌恶的气味^[2]。研究表明,水体发生黑臭的机理为:当水体受到严重有机污染时,好氧微生物大量分解有机物,水体中复氧速率跟不上耗氧速率造成水体缺氧。一些悬浮物与有机污染物在一定条件下发生沉集,从而使厌氧微生物大量繁殖并分解有机物,产生难溶于水的有味气体(如胺、氨、硫化氢)。这些气体一方面逸出水面进入大气,使水体散发出难闻的臭气;另一方面在上升过程中卷入污泥,使水体发黑。而缺氧的水体还可以使Fe、Mn等重金属还原,这些还原的金属元素与水中的 S^{2+} 结合形成FeS、MnS,也能使水体发黑^[3,4]。

黑臭水体的综合治理,一般遵循“外源减排、内源清淤、水质净化、清水补给、生态恢复”的技术路线。外源减排和内源清淤是基础与前提,水质净化是阶段性手段,水动力改善技术和生态恢复是长效保障措施^[5]。

内源清淤一般是指把黑臭水体内受污染的底泥(通常为河床表层部分)通过清淤疏浚技术挖掘出来。清淤疏浚技术通常有两种:一种干式清淤方式;另一种水上清淤方式。清淤的底泥通过除杂、除砂、浓缩沉淀、干化等处置工艺,最终实现泥水分离。分

离出来的尾水采用化学和生物方式进行处理,进一步降低水中污染物指标的浓度,满足排放标准后回排至城市水体中。而泥渣依据资源化原则,可对干化后的泥饼进行堆肥、回填和烧制等处置。

本文着重对黑臭水体清淤疏浚及底泥的处理处置进行探讨。

1 清淤疏浚技术

清淤疏浚技术的选择,主要是清淤设备的选择,即根据黑臭水体的污染物粒径、组成、清淤量、周边环境、水文气象等情况综合分析后确定。干式清淤方式一般适用于水域面积小、清淤量小、周边环境不允许大型机械进入的情况;而水上清淤方式则主要适用于水域开放、清淤量大的水体。

1.1 干式清淤

干式清淤是指抽干水体的黑臭水,使底泥裸露出来,用水力冲挖的方式对淤泥进行清理。

所谓水力冲挖是模拟自然界水流冲刷原理,借水力作用来进行挖土、输土、填土,即水流经高压泵产生压力,通过水枪喷出一股密实的高速水柱,切割、粉碎土体,使之湿化、崩解,形成泥浆和泥块的混合,再由特制漂浮式清淤机组及其输泥管吸送至淤泥处理场进行后续处理。

干式清淤具有清淤浓度高(含固率可高达30%)、速度快、较为彻底等优点,但也存在有可能破坏水体原有生态、产生二次污染等不足。在实际施工中,干式清淤一般用于城市箱涵清淤、明渠清

淤、小型湖泊清淤,设备操作简单,运输方便快捷,黑臭水体治理效果明显。干式清淤工艺流程见图 1。武汉黄孝河箱涵清淤采用的就是典型的水力冲挖方式:箱涵分段抽干后,使用人工或小型机械的方式将箱涵内大颗粒物包括石块、生活垃圾等先清理干净,再使用水力冲挖机组对箱涵内细颗粒的泥沙进行抽吸。该工程解决了黄孝河 20 多年来的淤塞问题,打通了武汉江岸片区一条重要的排污通道。

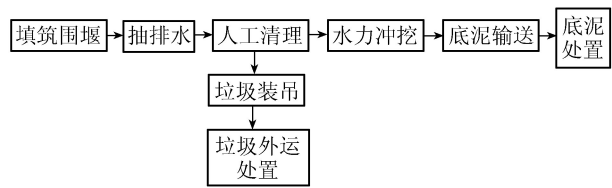


图 1 干式清淤工艺流程

1.2 水上清淤

对于水域开阔、水位较深的黑臭水体,断水排干方式难以实施,水上作业成为唯一途径。水上作业的清淤设备可分为机械清淤设备和水力清淤设备。

机械清淤设备的工作原理主要是通过抓、挖、铲等机械运动达到清除淤泥的目的。常用的机械清淤设备有抓斗式挖泥机、小型抓斗挖泥船、反铲自运式挖泥船等。机械清淤设备在工程疏浚上运用较多,不考虑疏浚过程造成的底泥再悬浮对水体的污染,只适合于污染较为严重的港口、海湾和一些内陆水域。对于环保要求更高的清淤工程,则主要依靠水力清淤设备。

水力清淤设备利用高压水枪冲刷河床,冲刷出一定浓度的淤泥,然后通过泥浆泵的绞吸、抽吸等作用将悬浮起来的淤泥吸入并通过管道排出。水力式挖泥船主要分为绞吸式、耙吸式、斗轮式、吸扬式等,依靠水力输送或船舶自航可以长距离输送挖掘的介质,且挖掘、输送、排放,以及水力清淤过程中高压水枪冲刷淤泥和泥浆泵抽吸悬浮起来的淤泥均同时进行,而大多数清淤设备在高压水枪上方配备有罩壳等组件,有效避免了冲刷起来的污泥扩散至上覆水体造成二次污染。

随着技术的发展,配有专用环保绞刀头的绞吸方式逐步取代原有的绞吸方式。专用环保绞刀头配有导泥挡板、绞刀密封罩、绞刀水平调节器等装置,是一种可以高精度挖除水下污染底泥,而对周围扰动较小的新型绞刀。无论清淤深度如何变化,通过绞刀水平调节器,使绞刀始终保持水平状态,清淤时绞刀外罩底边平贴河床,绞刀密封罩将绞刀扰动范围内的淤泥有效封盖并通过泥泵充分吸入。与常规的敞开式绞刀相比,专用环保绞刀有效防止了因绞刀扰动造成的底泥颗粒向罩外水体扩散,既避免了

施工过程中因挖掘造成的二次污染,又杜绝了逃淤现象,底泥清除率可达 96% 以上。

机械清淤设备一般清淤深度都较浅,适合于中小型河道及水深较浅的港口码头。而大多数机械清淤设备在清淤过程中对沉积物都存在不同程度的扰动,成为其应用于环保清淤工程的一大障碍。水力清淤设备一般清淤深度都较大,适合于江河湖库一些大型的清淤工程。而且,水力清淤设备大多依靠泥浆泵的抽吸作用来达到清淤的目的,这种清淤方式绝大多数情况下对水底沉积物的扰动都较小,完全符合环保疏浚对环境的要求。

1.3 清淤设备发展趋势

面对更为复杂的清淤环境,如深水清淤、密闭空间清淤等,清淤设备正朝着大型化、自动化、标准化、专业化以及新颖多样化的方向发展。

a. 清淤设备向大型化、集成化方向发展。大型化的清淤设备主要针对江河湖库等比较宽阔水域的清淤工作,大型化的清淤设备主要集成清淤、排泥以及淤泥脱水、固化等功能,甚至包含了脱水后上清液的处理工艺,这样可以大大减少淤泥的外运量,且保证了外排的脱水上清液不会对水体造成二次污染。

b. 清淤设备向自动化、智能化方向发展。清淤设备加装传感器,将水流速度、方向、风浪、船舶位置、船舶航向与航速、船舶的纵倾与横摇等参数实时输入计算机,可实现计算机对清淤设备的自动控制。全球定位系统、动态定位系统、动态跟踪系统、疏浚轨迹显示系统等的应用,使清淤设备能以极高的精度进行疏浚作业,完全沿着预定的疏浚线路施工,有效避免了漏挖、重挖、欠挖或过挖,提高了疏浚效益。

c. 清淤设备向多样化方向发展。为了适应我国多样的施工环境,清淤设备不仅有各类大型的挖泥船,也有小型的清淤机。朱永兴等^[6-7]将污泥泵安装在可自动行走的履带或齿轮上,并仿照清淤船配置旋转绞刀头,实现了水下自动清淤功能。类似水下清淤机等多样化的发展使得清淤设备更加适应不同的施工环境及要求。

2 底泥脱水干化技术

由水力冲挖、挖泥船或清淤机等通过管道输送而来的淤泥成分极为复杂,除污泥外,还有大量生活垃圾、石块、絮状物、泥沙和水生生物(如植物、贝壳等),含水率高,通常达 90% 以上;为实现远距离输送,冲挖冲击负荷也很大,这些特点使得底泥处理处置成为黑臭水体内源清淤的难点。底泥处理处置的工艺流程见图 2。

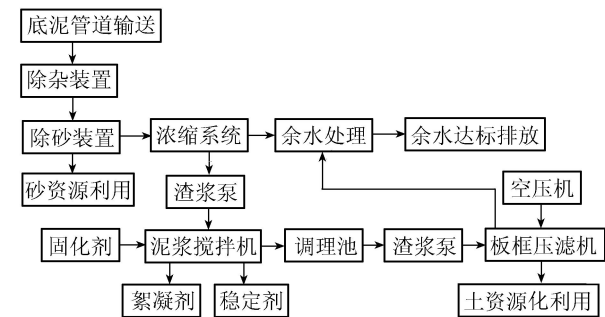


图2 底泥处理处置工艺流程

2.1 除杂除砂

为减轻黑臭水体污泥中复杂成分给后续工艺带来负荷,必须对来浆先进行除杂和除砂处理。

借鉴污水处理的经验,目前黑臭水体底泥使用较多的除杂除砂装置为格栅与沉砂池相结合的方式,但黑臭水体底泥成分复杂,泥浆中夹杂的砖石等大颗粒物,形状不规则且自重较大,会给格栅机造成较大的冲击,齿耙极易损坏,使格栅机不能正常运转,加之格栅栅条间距较大(若过小则容易堵塞),进入沉砂池的成分仍比较复杂,沉砂池沉积物难以分级利用。

由盾构泥浆处理设备改造而来的泥浆净化器,采用振动筛结合水力旋流器的方式对底泥进行除杂除砂,工程实施效果明显。底泥输送至该设备后,首先经预筛(不锈钢材质,筛孔直径为3 mm)将3 mm以上颗粒物筛分出来,3 mm以下颗粒随泥浆进入旋流筛分系统,0.02 mm(分离粒度 D_{50})以上颗粒经旋流和再次筛分后从泥浆中脱离出来。细颗粒物可通过多级旋流器进行多级分离,为后续的资源化利用提供有利条件。筛分之后的渣料,根据粒径的不同,可进行分级处理。生活垃圾、木块、贝壳等送至就近填埋场进行填埋;较粗的石砾用于填方;细砂则直接用于建筑材料进行二次利用。

2.2 污泥浓缩

经除杂除砂设备处理后,泥浆含水率仍较高,必须先进行浓缩沉淀,以减少进入干化工序的污泥体积。在污水处理行业,重力浓缩、气浮浓缩和机械浓缩是目前主流的污泥浓缩工艺。在黑臭水体底泥清淤施工中,首要任务是实现连续生产。由于污泥泥浆量大,不稳定,因此首选工艺是能稳定运行的重力沉淀工艺。重力沉淀又分为自然沉淀和混凝沉淀两种。自然沉淀不添加任何药剂,仅依靠重力作用,完成污泥悬浮物的沉降。自然沉淀能耗低、运行稳定,但需要较大的占地面积以满足连续生产的要求,浓缩底泥的含固率也较低。混凝沉淀需添加一定量的药剂辅助污泥沉淀,而所需药剂成本较高,能耗也较自然沉淀高,但混凝沉淀占地面积小,效率高,浓缩

底泥含固率高,通常可达20%~30%,可大大减小后续工艺的进浆体积,泥浆减量化明显。

具体施工时可依据工程实际条件,综合考虑占地面积、药剂成本、人员设备投入等因素,选择最具经济效益和社会价值的工艺方案。

2.3 污泥干化

黑臭水体污泥干化的方法有:预压法(真空、堆载)、板框压滤法、离心脱水法、土工管袋法和主动开沟排水干化等方法。目前黑臭水体疏浚底泥快速干化常用的方法是先采用絮凝剂和固化剂调理,再进行板框压滤。板框压力越大,滤饼含水率越低,污泥脱水效果越好。但是压力过大时,容易造成跑料;压滤时间越长,所得净滤液量体积越大,污泥脱水效果越好。但是压滤时间达到一定长度后,若进一步延长压滤时间,脱水效果变化不明显;在相同的压滤压力和压滤时间内,随着絮凝剂投加量的增加,污泥脱水速度不断加快,污泥脱水效果也越好。所以在选择机械脱水方式时,需要通过试验,确定合适的压滤压力和压滤时间,并从经济的角度确定合适的絮凝剂、固化剂投加量。

2.4 尾水处理

为保证浓缩池上清液和压榨清水满足排放标准,必须对尾水进行处理后才能外排。目前尾水处理主要集中在物理化学和生物处理上,包括混凝沉淀法、膜生物反应器(MBR)技术、曝气生物滤池技术、生物接触氧化法、生态湿地、人工塘等工艺工法。在工期紧、处理量大等实际施工背景下,混凝沉淀深度处理的方式是比较符合需求的尾水处理方式。尾水混凝沉淀通过添加混凝剂,去除水中的微小悬浮物,包括有机和无机杂质,降低水的色度和浊度,减小水中溶解性杂质浓度,达到排放的要求。

在处理量大、场地小等更为严格的要求下,在混凝剂中添加磁粉,使悬浮物、胶体物质、藻类、磷等形成可作用于磁场的微絮颗粒,然后通过磁力将其从水体中快速分离。该超磁分离净化法停留时间短,可连续运行,占地面积小,处理量大,可成为黑臭水体尾水处理的一种选择。

2.5 底泥资源化

随着我国对环境保护的要求日益严格,以往对黑臭水体处理处置的常用方法——农用、焚烧或填埋,都存在既浪费资源又有二次污染的问题,因此底泥资源化日益受到重视,成为底泥处置的发展趋势。在实际工程施工中,底泥的资源化主要有以下几个方面。

2.5.1 底泥堆肥

由于重金属、病原微生物等有毒有害物质的存

在,经干化的底泥往往不能直接用于农田,目前常采用堆肥、淤泥消化、加碱或氯气、加固化稳定剂等技术手段降低底泥中的有毒有害物质。

其中堆肥是应用较为广泛的底泥处置方式。堆肥后的底泥,可以改善土壤理化性状,提高土壤肥力,促进园林植物生长,并以底泥为材料,进行栽培营养土的配比试验,其效果和一般复合肥相差无几。

2.5.2 底泥填方

对干化底泥进行再次干燥、脱水、固化稳定处理和热处理,使其适合工程需求后,可进行回填施工,作为填方材料使用。从工程应用角度出发,以化学固化处理为主,同时辅以物理固化是目前最为便捷、适用范围较广、造价较为理想的方法。与一般的土料相比,淤泥固化土具有不产生固结沉降、强度高、透水性小等优点,除可以免去碾压等地基处理外,有时还可达到普通砂土所达不到的工程效果。目前常用的固化材料主要有水泥、石灰、石膏、粉煤灰等。

2.5.3 底泥制陶

底泥矿物与黏土类似,具有在高温下发泡膨胀的特点,采用高温加热膨胀后冷却固化的方法,可使底泥陶粒在保证力学性能的同时提高材料的保温效果。随着建筑业对环保节能要求的日益提高,利用黏土或相关替代产品(如淤泥、页岩等)生产陶粒,获得能耗低、热工性能和体积稳定性好、耐久性能优异的新型建材已成为重要发展方向。

2.5.4 底泥制砖

疏浚底泥具有颗粒细、含砂量少、可塑性高、结合力强等特点,在制砖领域具有一定先天性的优势,其中所含的大量有机物在焙烧过程中被烧失而产生微孔,这样会降低产品的体积和密度。通过调节配方可以制得透气性较好的轻质砖。以淤泥为主要原料制成的砖块质轻、透气性好,而且很容易制出不同的色彩,适宜于各种建筑物装饰。如将其制成砖块用于铺设人行道,雨水能够穿过砖块直接渗入地下,可防止因下水道排水不畅而造成积水。

3 结 论

在城市黑臭水体综合整治中,内源清淤疏浚是解决水体黑臭问题的有效工程手段之一,高效、环保清淤及清淤底泥的安全处理处置,是人们对日益增长的环境保护需求的具体体现,是社会可持续发展的重要需求。

a. 干式水力冲挖方式清淤浓度大,效率高,但清淤量小,存在二次污染的风险,适合小型黑臭水体的清淤施工。

b. 水上清淤作业方式种类繁多,环保绞吸方式是运用较为成熟的工艺,其中专用环保绞刀能有效避免施工过程中因挖掘造成的二次污染,提高清淤效率。

c. 底泥进行资源化处理之前,需要进行除杂除砂、浓缩沉淀、脱水干化工艺处理,降低底泥含水率,形成分级渣料。根据渣料粒径的不同,采用不同的资源化处理方式,若有重金属污染,还需要进行钝化和螯合等处理之后再利用。

d. 在实际工程运用中,底泥有堆肥、填方、制陶和制砖 4 个处置方向,为底泥的资源化提供了具体途径。

参考文献:

[1] 应太林,张图莹,吴蕊蕊. 苏州河水体黑臭机理及底质再悬浮对水体的影响[J]. 上海环境科学,1997,16(1):23-26.

[2] 高丹英. 黑臭水净化菌株的筛选及净水效果的研究[D]. 武汉:华中师范大学,2009.

[3] 俞一夫,黄永祥. 生态环境中铁、锰、硫的循环与微生物的关系[J]. 浙江师范大学学报,1997,20(2):86-89.

[4] 李伟杰,汪永辉. 铁离子在水体中价态的转化及其与河道黑臭的关系[J]. 净水技术,2007(2):8-12.

[5] 熊万永. 福州内河引水冲污工程的实践与认识[J]. 中国给水排水,2000,16(7):26-28.

[6] 朱永兴,李战,季金平. YQ-80D 型遥控潜吸式水下清淤机[J]. 渔业机械仪器,1992(2):2-5.

[7] 廖伟强,罗智芸,徐素梅. 水下清污机器人的研究现状与发展趋势[J]. 机电工程技术,2016,45(1):12-14.

(收稿日期:2016-12-21 编辑:胡新宇)

(上接第 69 页)

时间后都会积累大量的数据,这些数据的深入挖掘利用是 WQ-LIMS 后期发展的重点,比如采用水质数学模型和多因子回归方法,建立水体水资源质量与其相关影响因素之间的关系,尤其需要考虑动态水量的变化情况进行分析评价和预测。此外,如何做好水样采集的质量控制是系统研发是否成功的关键技术之一。

随着大数据技术和云计算技术的不断发展,这方面的研究会越来越受到重视,也许基于 LIMS 数据资源开发的服务最终所带来的效益可能远远超过应用 LIMS 而产生的直接利益,这也是大数据时代的一个重要特征。

(收稿日期:2016-11-29 编辑:徐 娟)