

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2015.01.009

中小河道治理中的清淤及淤泥处理技术

包建平^{1,2}, 朱伟¹, 闵佳华³

(1. 河海大学环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 南京河海科技有限公司, 江苏 南京 210098;
3. 浙江省疏浚工程有限公司, 浙江 湖州 313000)

摘要:综述我国河道尤其是中小河道的淤泥清除方法,如排干清淤、水下清淤及环保清淤等,对各种清淤方法的适用范围和优缺点进行分析;同时介绍了污染淤泥钝化处理、堆场淤泥处理和淤泥资源化处理技术,并分析了其适用范围,对河道清淤与淤泥处理利用技术进行了展望,以期为我国的河道清淤和淤泥处理提供借鉴。

关键词:农村河道;河道疏浚;清淤技术;淤泥处理

中图分类号:TV85 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2015)01-0056-07

Technology of dredging and sludge treatment in small and medium-sized river regulation

BAO Jianping^{1,2}, ZHU Wei¹, MIN Jiahua³

(1. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Nanjing Hohai Technology Co., Ltd. Nanjing 210098, China;
3. Zhejiang Dredging Engineering Co., Ltd., Huzhou 313000, China)

Abstract: The sludge dredging methods such as draining dredging, underwater dredging and environmental protection dredging, etc. for the river, especially small and medium-sized river in China were reviewed. The application scope, the advantages and disadvantages of all kinds of sludge dredging methods were analyzed. In the meantime, the technologies of pollution silt passivation treatment, yard sludge processing and sludge recycling treatment were introduced, and the application scopes of those technologies were analyzed. Technologies of river dredging and silt utilization were prospected. The purpose of this paper is to provide references for river dredging and sludge treatment in our country.

Key words: rural river; river dredging; dredging technology; sludge treatment

我国中小河道淤积现象比较普遍,河道原有的调蓄洪水和防灾减灾的能力有所减弱。近几年国家加强了中小河道和农村河道的治理力度,其中清淤工程作为主要措施被广泛实施。以江苏省为例,在2003—2014年期间,已投资超过40亿元进行河道清淤,累计清淤量超过35亿m³^[1]。

目前河道清淤已经从过去的仅以提高河道防洪、排涝和灌溉能力^[2]的传统水利工程目标向生态

水利目标拓展,也就是说在很多河道清淤工程的目标中都含有减少河道内源污染,为河道水质改善提供保障的工程目的。

历史上,农村河道的清淤工程多是基于人工体力劳作的方式来完成,而大型清淤装备、清淤船只也基本上是为了港口、航道或大江大河的大规模疏浚工程而建造,无法进入中小河道进行施工,因此中小河流清淤工程一般没有非常合适的清淤装备进行施

基金项目:水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07103-005,2013ZX07113001);水利部公益性行业科研专项(201201015);江苏省水利科技项目(30145048712);江苏省科技基础设施建设计划(BM2013013)

作者简介:包建平(1983—),男,博士研究生,主要研究方向为环境工程及河道淤泥处理。E-mail: smallbao@163.com

工。与农村河道清淤相关的另一个问题就是淤泥的处理问题。过去农村河道广泛存在“挖河泥”的冬季作业,并有将挖出来的河泥进行沤肥后作为肥料使用的习惯,这种习惯很自然地解决了淤泥的去向问题。而现在由于乡镇企业的发展导致了一些农村河道遭受了工业污水排放的污染,而农村生活方式的变化也使得一些小型工业废弃物、生活垃圾被弃置于河道之中。由于这些原因,一些河泥成为“污泥”,其性质不再适宜直接还田或经过沤肥后作为肥料使用。另一方面,农业生产中化肥的使用越来越普遍,也使得原先用河泥沤制的肥料逐渐丧失了需求。

过去我国在航道、港口和大规模的内河疏浚工程较多,形成了相应的技术方法和机械设备。“十五”期间,围绕河湖治理时底泥中污染物的去除问题开展了较多的“环保清淤”工程,即,指将河湖底泥中聚集的污染物通过清淤方式移出湖泊、河流的工程。环保清淤与工程清淤的差异在于清淤的底泥厚度很薄,比如太湖环保清淤工程其底泥为 20 ~ 40 cm 的居多,因此,对清淤设备本身的定位、操作系统的精度要求很高。太湖、滇池等富营养化湖泊都开展了围绕去除底泥中富含的氮、磷营养而实施大规模的环保清淤工程。而城市河道也普遍展开环保清淤工作,广州在召开亚运会之前,为了改善河道水质,对城市河涌进行了普遍清淤,上海的苏州河、南京秦淮河等城市河道都普遍实施了清淤工程。

相对于湖泊而言,城市河道的环保清淤工程可稍微粗放一些,因为河道本身的流动性和交换的特点,施工的精度和二次污染防治的要求都没有湖泊敏感。目前环保清淤工程在淤泥的处理方面普遍采用了堆场堆放的模式,清淤产生的泥浆先进入堆场存放,在沉淀以后进行土地还原或者进行处理利用。

而对于中小河道以及农村河道的清淤工程到底应该如何实施,使用什么样的清淤机械和工艺,清出来的淤泥应该如何处理,在目前尚无一个比较规范或者公认的方法。针对这一问题,本文收集和梳理了我国河道尤其是中小河道的清淤方法,以及淤泥处理利用的技术和方法,对各种方法的优缺点及适用范围进行了分析,希望能够为中小河流、农村河道的清淤工程提供一些技术借鉴。

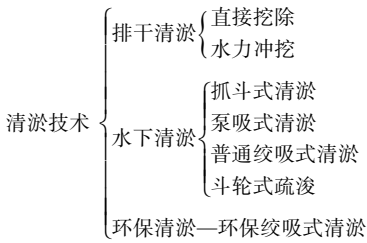
1 常用河道清淤技术

目前的河道清淤工程,大多数具有水质改善的目的,因此尚属“环保清淤”范围。另外,在工程上有“疏浚”和“清淤”两个较为接近的术语,为了区别于航道、港口等大规模疏浚工程,笔者建议将中小河

道、农村河道的清、挖工程统一称为“清淤”,突出清除底泥中污染物的概念和解决淤积问题的工程目的。现在的清淤工程具有系统化施工的特点,在清淤之前应该进行初步的底泥调查。通过测量明确河道底床的形状特征,通过底泥采样分析明确底泥中污染物的特点和是否超过环境质量标准。中小河道,尤其是农村河道工程量偏小,这些前期工作很容易被忽视,但实际上先进行一些简单的前期工作对整个工程的顺利实施并得到预期效果会有极大的帮助。在前期工作的基础上,根据淤积的数量、范围、底泥的性质和周围的条件确定包含清淤、运输、淤泥处置和尾水处理等主要工程环节的工艺方案,因地制宜选择清淤技术和施工装备,妥善处理处置清淤产生的淤泥并防止二次污染的发生。

由于近些年我国港口、航道、内河以及湖泊清淤工程众多,疏浚、清淤技术得到长足发展,装备能力也大大提升,但能够进入中小河道和农村河道的专用船只和设备却并不常见。最常用的中小河道清淤技术可分类如表 1 所示。

表 1 中小河道清淤技术方法分类



1.1 排干清淤

对于没有防洪、排涝、航运功能的流量较小的河道,排干清淤指可通过在河道施工段构筑临时围堰,将河道水排干后进行干挖或者水力冲挖的清淤方法。排干后又可分为干挖清淤和水力冲挖清淤两种工艺。

a. 干挖清淤:作业区水排干后,大多数情况下都是采用挖掘机进行开挖,挖出的淤泥直接由渣土车外运或者放置于岸上的临时堆放点。倘若河塘有一定宽度时,施工区域和储泥堆放点之间出现距离,需要有中转设备将淤泥转运到岸上的储存堆放点。一般采用挤压式泥浆泵,也就是混凝土输送泵将流塑性淤泥进行输送,输送距离可以达到 200 ~ 300 m,利用皮带机进行短距离的输送也有工程实例。干挖清淤其优点是清淤彻底,质量易于保证而且对于设备、技术要求不高;产生的淤泥含水率低,易于后续处理。

b. 水力冲挖清淤:采用水力冲挖机组的高压水枪冲刷底泥,将底泥扰动成泥浆,流动的泥浆汇集到事先设置好的低洼区,由泥泵吸取、管道输送,将泥

浆输送至岸上的堆场或集浆池内。水力冲挖具有机具简单,输送方便,施工成本低的优点,但是这种方法形成的泥浆浓度低,为后续处理增加了难度,施工环境也比较恶劣。

一般而言,排干清淤具有施工状况直观、质量易于保证的优点,也容易应对清淤对象中含有大型、复杂垃圾的情况。其缺点是,由于要排干河道中的流水,增加了临时围堰施工的成本;同时很多河道只能在非汛期进行施工,工期受到一定限制,施工过程易受天气影响,并容易对河道边坡和生态系统造成一定影响。

1.2 水下清淤

水下清淤一般指将清淤机具装备在船上,由清淤船作为施工平台在水面上操作清淤设备将淤泥开挖,并通过管道输送系统输送到岸上堆场中。水下清淤有以下几种方法。

a. 抓斗式清淤:利用抓斗式挖泥船开挖河底淤泥,通过抓斗式挖泥船前臂抓斗伸入河底,利用油压驱动抓斗插入底泥并闭斗抓取水下淤泥,之后提升回旋并开启抓斗,将淤泥直接卸入靠泊在挖泥船舷旁的驳泥船中,开挖、回旋、卸泥循环作业。清出的淤泥通过驳泥船运输至淤泥堆场,从驳泥船卸泥仍然需要使用岸边抓斗,将驳船上的淤泥移至岸上的淤泥堆场中。

抓斗式清淤适用于开挖泥层厚度大、施工区域内障碍物多的中、小型河道,多用于扩大河道行洪断面的清淤工程。抓斗式挖泥船灵活机动,不受河道内垃圾、石块等障碍物影响,适合开挖较硬土方或夹带较多杂质垃圾的土方;且施工工艺简单,设备容易组织,工程投资较省,施工过程不受天气影响。但抓斗式挖泥船对极软弱的底泥敏感度差,开挖中容易产生“掏挖河床下部较硬的地层土方,从而泄露大量表层底泥,尤其是浮泥”的情况;容易造成表层浮泥经搅动后又重新回到水体之中。根据工程经验^[3-5],抓斗式清淤的淤泥清除率只能达到 30% 左右,加上抓斗式清淤易产生浮泥遗漏、强烈扰动底泥,在以水质改善为目标的清淤工程中往往无法达到原有目的。

b. 泵吸式清淤:也称为射吸式清淤,它将水力冲挖的水枪和吸泥泵同时装在 1 个圆筒状罩子里,由水枪射水将底泥搅成泥浆,通过另一侧的泥浆泵将泥浆吸出,再经管道送至岸上的堆场,整套机具都装备在船只上,一边移动一遍清除。而另一种泵吸法是利用压缩空气为动力进行吸排淤泥的方法,将圆筒状下端有开口泵筒在重力作用下沉入水底,陷入底泥后,在泵筒内施加负压,软泥在水的静压和泵

筒的真空负压下被吸入泵筒。然后通过压缩空气将筒内淤泥压入排泥管,淤泥经过排泥阀、输泥管而输送至运泥船上或岸上的堆场中。

泵吸式清淤的装备相对简单,可以配备小中型的船只和设备,适合进入小型河道施工。一般情况下容易将大量河水吸出,造成后续泥浆处理工作量的增加。同时,我国河道内垃圾成分复杂、大小不一,容易造成吸泥口堵塞的情况发生。

c. 普通绞吸式清淤:普通绞吸式清淤主要由绞吸式挖泥船完成。绞吸式挖泥船由浮体、绞刀、上吸管、下吸管泵、动力等组成。它利用装在船前的桥梁前缘绞刀的旋转运动,将河床底泥进行切割和搅动,并进行泥水混合,形成泥浆,通过船上离心泵产生的吸入真空,使泥浆沿着吸泥管进入泥泵吸入端,经全封闭管道输送(排距超出挖泥船额定排距后,中途串接接力泵船加压输送)至堆场中。普通绞吸式清淤船及绞刀如图 1 所示。



(a) 绞吸式清淤船 (b) 绞刀

图 1 普通绞吸式清淤船及绞刀

普通绞吸式清淤适用于泥层厚度大的中、大型河道清淤。普通绞吸式清淤是一个挖、运、吹一体化施工的过程,采用全封闭管道输泥,不会产生泥浆散落或泄漏;在清淤过程中不会对河道通航产生影响,施工不受天气影响,同时采用 GPS 和回声探测仪进行施工控制,可提高施工精度。普通绞吸式清淤由于采用螺旋切片绞刀进行开放式开挖,容易造成底泥中污染物的扩散,同时也会出现较为严重的回淤现象。根据已有工程的经验^[4,6],底泥清除率一般在 70% 左右。另外,吹淤泥浆浓度偏低,导致泥浆体积增加,会增大淤泥堆场占地面积。

d. 斗轮式清淤:利用装在斗轮式挖泥船上的专用斗轮挖掘机开挖水下淤泥,开挖后的淤泥通过挖泥船上的大功率泥泵吸入并进入输泥管道,经全封闭管道输送至指定卸泥区。斗轮式挖泥船及斗轮如图 2 所示。斗轮式清淤一般比较适合开挖泥层厚、工程量大的中、大型河道、湖泊和水库,是工程清淤常用的方法。清淤过程中不会对河道通航产生影响,施工不受天气影响,且施工精度较高。但斗轮式清淤在清淤工程中会产生大量污染物扩散,逃淤、回

淤情况严重,淤泥清除率在 50% 左右,清淤不够彻底,容易造成大面积水体污染。



(a) 斗轮式挖泥船 (b) 斗轮

图 2 斗轮式挖泥船及斗轮

1.3 环保清淤

环保清淤包含两个方面的含义,一方面指以水质改善为目标的清淤工程,另一方面则是在清淤过程中能够尽可能避免对水体环境产生影响。环保清淤的特点有:①清淤设备应具有较高的定位精度和挖掘精度,防止漏挖和超挖,不伤及原生土;②在清淤过程中,防止扰动和扩散,不造成水体的二次污染,降低水体的混浊度,控制施工机械的噪音,不干扰居民正常生活;③淤泥弃场要远离居民区,防止途中运输产生的二次污染。

环保清淤的关键和难点在于如何保证有效的清淤深度和位置,并进行有效的二次污染防治,为了达到这一目标一般使用专用的清淤设备^[7],如使用常规清淤设备时必须进行相应改进。专用设备包括日本的螺旋式挖泥装置和密闭旋转斗轮挖泥设备。这两种设备能够在挖泥时阻断水侵入土中,故可高浓度挖泥且极少发生污浊和扩散现象,几乎不污染周围水域。意大利^[8]研制的气动泵挖泥船用于疏浚水下污染底泥,它利用静水压力和压缩空气清除污染底泥,此装置疏浚质量分数高,可达 70% 左右,对湖底无扰动,清淤过程中不会污染周围水域。国内目前所使用的环保清淤设备多为在普通挖泥船上对某些挖泥机具进行环保改造,并配备先进的高精度定位和监控系统以提高疏浚精度、减少疏浚过程中的二次污染,满足环保清淤要求^[7]。

环保绞吸式清淤是目前最常用的环保清淤方式,适用于工程量较大的大、中、小型河道、湖泊和水库,多用于河道、湖泊和水库的环保清淤工程。环保绞吸式清淤是利用环保绞吸式清淤船进行清淤。环保绞吸式清淤船配备专用的环保绞刀头,清淤过程中,利用环保绞刀头实施封闭式低扰动清淤,开挖后的淤泥通过挖泥船上的大功率泥泵吸入并进入输泥管道,经全封闭管道输送至指定卸泥区。环保式清淤船及专用环保刀头如图 3 所示。

环保绞吸式清淤船配备专用的环保绞刀头具有防止污染淤泥泄漏和扩散的功能,可以疏浚薄的污



(a) 环保式清淤船 (b) 专用环保刀头

图 3 环保式清淤船及专用环保刀头

染底泥而且对底泥扰动小,避免了污染淤泥的扩散和逃淤现象,底泥清除率可达到 95% 以上;清淤浓度高,清淤泥浆质量分数达 70% 以上,一次可挖泥厚度为 20 ~ 110 cm。同时环保绞吸式挖泥船具有高精度定位技术和现场监控系统,通过模拟动画,可直观地观察清淤设备的挖掘轨迹;高程控制通过挖深指示仪和回声测深仪,精确定位绞刀深度,挖掘精度高^[9]。环保式清淤船及专用环保刀头如图 3 所示。

2 河道淤泥的处理处置技术

河道清淤必然产生大量淤泥,这些淤泥一般含水率高、强度低,部分淤泥可能含有有毒有害物质,这些有毒有害物质被雨水冲刷后容易浸出,从而对周围水环境造成二次污染。因此有必要对清淤后产生的淤泥进行合理的处理处置。淤泥的处理方法受到淤泥本身的基本物理和化学性质的影响,这些基本性质主要包括淤泥的初始含水率(水与干土质量比,下同)、黏粒含量、有机质含量、黏土矿物种类及污染物类型和污染程度。在实际的淤泥处理工程中,可以根据待处理淤泥的基本性质和拥有的处理条件,选择合适的处理方案。

纵观国内外淤泥处理处置技术,可以按照不同的划分标准进行如表 2 所示的分类,在实际的淤泥处理工程中,可以根据待处理淤泥的基本性质和拥有的处理条件,选择合适的处理方案。

表 2 淤泥的处理处置技术分类

淤泥的处理 处置技术	按淤泥是否污染	无污染淤泥处理 污染淤泥处理
	按处理地点不同—堆场处理技术	堆场周转 堆场表层处理 堆场快速复耕
	按淤泥归宿不同	资源化利用技术 处置技术

2.1 无污染淤泥与污染淤泥的处理

淤泥是否污染及含有的污染物种类不同,其相应的处理方法也不尽相同,某些水利工程中产生的淤泥基本上没有污染物或污染物低于相关标准,例如南水北调东线工程淮安白马湖段疏浚淤泥无重金属污染,同时氮磷等营养盐的含量也低,对于此类无

污染或轻污染的淤泥可以进行资源化处理,这类淤泥主要产生于工业比较落后的农村地区。而对污染物超过相关标准的淤泥,则在处理时首先应考虑降低污染水平到相关标准之下,例如对重金属污染超标的淤泥可以采取钝化稳定化技术。淤泥处理技术的选择也要考虑到处理后的用途,比如对氮、磷营养盐含量高的淤泥,当处理后的淤泥拟用作路堤或普通填土而离水源地较远,氮、磷无法再次进入到水源地造成污染时,一般不再考虑氮磷的污染问题。

a. 堆场处理与就地处理:堆场处理法是指将淤泥清淤出来后,输送到指定的淤泥堆场进行处理,我国河道清淤大多采用绞吸式挖泥船,造成淤泥中水与泥的体积比在 5 倍以上,而淤泥本身黏粒含量很高,透水性差,固结过程缓慢,因此,如何实现泥水快速分离,缩短淤泥沉降固结时间,从而加快堆场的周转使用或快速复耕,是堆场处理法中关键性问题。就地处理法则不将底泥疏浚出来,而是直接在水下对底泥进行覆盖处理或者是排干上覆水体然后进行脱水、固化或物理淋洗处理,但也应根据实际情况选用处理方法,如对于浅水或水体流速较大的水域,不宜采用原位覆盖处理,对于大面积深水水域则不宜采用排干就地处理。

b. 资源化利用与常规处置:淤泥从本质上来讲属于工程废弃物,按照固体废弃物处理的减量化、无害化、资源化原则,应尽可能对淤泥考虑资源化利用。广义上讲,只要是能将废弃淤泥重新进行利用的方法都属于资源化利用,例如利用淤泥制砖瓦、陶粒以及固化、干化、土壤化等方法都属于淤泥再生资源化技术。而农村地带可将没有重金属污染但氮、磷含量比较丰富的淤泥进行还田,成为农田中的土壤。或者将这种淤泥在洼地堆放后作为农用地进行利用。当然在堆场堆放以后如果能够自然干化,满足人及轻型设备在表面作业所要求的承载力的话,作为公园、绿地甚至市政、建筑用地都是可以的。利用淤泥的资源化利用技术是国际上很多发达国家常采用的处理方法,如在日本,整个土建行业的废弃物利用率已经从 1995 年的 58% 提高到 2000 年的 80%,淤泥等废弃土的利用率也达到了 60%^[8]。

当淤泥中含有某些特殊污染物如重金属或某些高分子难降解有机污染物而无法去除,进行资源化利用会造成二次污染。这时就需要对其进行一步到位的处置,即采取措施降低其生物毒性后进行安全填埋,并需相应做好填埋场的防渗设置。

2.2 污染淤泥的钝化处理技术

工业发达地区的河道淤泥中重金属污染物往往超标,通常意义上的污染淤泥多指淤泥中的重金属

污染,例如上海苏州河的淤泥中重金属比当地背景值高出 2 倍以上^[10],对此类重金属超标的淤泥,可以采用钝化处理技术。钝化处理是根据淤泥中的重金属在不同的环境中具有不同的活性状态,添加相应的化学材料使淤泥中不稳定态的重金属转化为稳定态的重金属而减小重金属的活性,达到降低污染的目的。同时添加的化学材料和淤泥发生化学反应会产生一些具有对重金属物理包裹的物质,可以降低重金属的浸出性,从而进一步降低重金属的释放和危害^[11-12]。钝化后重金属的浸出量小于相关标准要求之后,这种淤泥可以在低洼地处置,也可作为填土材料进行利用。

2.3 堆场淤泥处置技术

清淤工程中通常设置淤泥堆场,堆场处理技术就是从初始的吹填阶段开始,采用系列的措施快速促沉、快速固结,并结合表层处理技术,将淤泥堆场周转使用或者达到淤泥堆场的快速复耕。

堆场周转技术目的是减小堆场数量和占地,堆场表层处理技术是为后续施工提供操作平台,而堆场的快速复耕技术则是通过系列技术的结合达到使淤泥堆场快速还原为耕地。

a. 堆场周转使用技术。堆场周转使用技术是指通过技术措施将堆场中的淤泥快速处理,清空以后重新吹淤使用,如此反复达到堆场循环利用的目的。堆场周转技术改变了以前的大堆场、大容量的设计方法,而提出采用小堆场、高效周转的理念,特别适合于土地资源紧缺的东部地区。堆场周转技术的设计主要考虑需要处理的淤泥总量、堆场的容量、周转周期和周转次数等,该技术通常可以和固化或者干化技术相结合,就地采用固化淤泥或干化淤泥作为堆场围堰,同时也可以对堆场内的淤泥进行快速资源化利用。

b. 堆场表层处理技术。清淤泥浆的初始含水率一般在 80% 以上,而淤泥的颗粒极细小,黏粒含量都在 20% 以上,这使得泥浆在堆场中沉积速度非常缓慢,固结时间很长。吹淤后的淤泥堆场在落淤后的两三年时间内只能在表面形成 20 cm 左右厚的天然硬壳层,而下部仍然为流态的淤泥,含水率仍在 1.5 倍液限以上,进行普通的地基处理难度很大^[13]。堆场表层处理技术则是利用淤泥堆场原位固化处理技术(图 4),人为地在淤泥堆场表面快速形成一层人工硬壳层,人工硬壳层具有一定的强度和刚度,满足小型机械的施工要求,可以进行排水板铺设和堆载施工,从而方便对堆场进一步的处理。人工硬壳层的设计是表层处理技术的关键,主要考虑后续施工的要求,结合下部淤泥的性质,通过试验

和模拟确定硬壳层的强度参数和设计厚度,人工硬壳层技术又往往和淤泥固化技术相结合形成固化淤泥人工硬壳层,也可以利用聚苯乙烯泡沫塑料(EPS)颗粒形成轻质人工硬壳层则效果更佳。

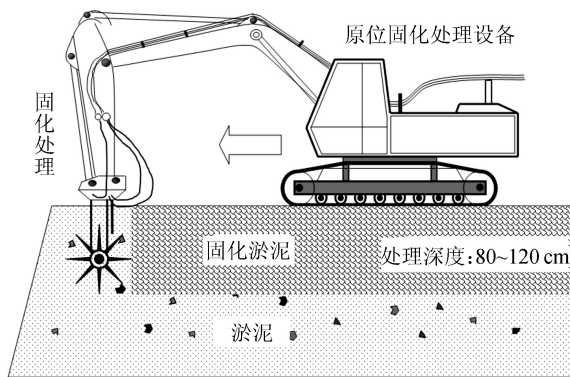


图4 淤泥原位固化处理技术

c. 堆场快速复耕技术。堆场快速复耕技术主要包括泥水快速分离技术、人工硬壳层技术和透气真空快速固结技术。

泥水快速分离技术是指首先在吹淤过程中添加改良黏土颗粒胶体离子特性的促沉材料,促使固体土颗粒和水快速分离并增加沉降淤泥的密度,另一方面则是在堆场中设置具有截留和吸附作用的排水膜进一步提高疏浚泥沉降速度,同时可利用隔埂增加流程和改变流态,从而达到疏浚泥浆的快速密实沉积的效果^[14]。透气真空快速固结技术则是通过人工硬壳层施工平台,在淤泥堆场中插设排水板或设置砂井,然后在硬壳层上面铺设砂垫层,砂垫层和排水板搭接,其上覆盖不透水的密封膜与大气隔绝,通过埋设于砂垫层中带有滤水管的分布管道,用射流泵进行抽气抽水,孔隙水排出的过程使有效应力增大,从而提高了堆场淤泥的强度,达到快速固结的目的。透气真空固结技术和常规的堆载预压技术结合在一起进行可以达到更理想的效果^[15]。

对于部分淤泥堆场来说,由于堆存的淤泥深度较深,若将整个淤泥堆场的淤泥处理完成来满足复耕的目的,投资较大,同时对于堆场复耕来说,对承载力要求相对较低,因此基于堆场表层处理的复耕技术在堆放淤泥较深的堆场经常被使用。通过淤泥堆场原位固化处理技术,将淤泥堆场表层(80~120 cm)淤泥进行固化处理,处理完成后再对表层的固化土进行土壤化改良,以满足植物种植的要求。

2.4 淤泥资源化利用技术

上面阐述的淤泥固化、干化、土壤化等各种能把废弃淤泥变为资源重新进行使用的技术都属于淤泥的资源化利用范畴。此外,淤泥资源化利用技术还包括把淤泥制成砖瓦的热处理方法。热处理方法是

通过加热、烧结将淤泥转化为建筑材料,按照原理的差异又可以分为烧结和熔融。烧结是通过加热 800~1 200℃,使淤泥脱水、有机成分分解、粒子之间黏结,如果淤泥的含水率适宜,则可以用来制砖或水泥。熔融则是通过加热 1 200~1 500℃使淤泥脱水、有机成分分解、无机矿物熔化,熔浆通过冷却处理可以制作成陶粒。热处理技术已经比较成熟,国外和国内的不少学者都进行过相关研究^[16-17]。热处理技术的特点是产品的附加值高,但热处理技术能够处理的淤泥量非常有限,比如普通制砖厂 1 年大概能消耗淤泥 5 万 m³,不能满足目前我国疏浚淤泥动辄上百万立方米发生量的处理需求,从淤泥的大规模产业化处理前景来讲,固化、干化、土壤化的淤泥资源化利用技术是具有生命力的,若与堆场处理技术相结合则更能显示出效益。

3 清淤及淤泥处理处置技术的发展方向

随着社会的发展,对生态环境保护的重视,越来越多的城市和农村河道将进行清淤和疏浚工程,清淤产生的大量淤泥占用大面积堆场,因此对清淤技术和淤泥处理处置技术提出了新的要求^[17]。

最新的清淤技术目前有以下几种:

a. 高浓度原位环保清淤方法。由于目前常用的环保清淤方法清淤出的淤泥浓度在 15%~20% 左右,水分子的体积要远大于土颗粒的体积,清淤泥浆的体积大约为颗粒的 4~5 倍。这些高含水泥浆往往需要较大的堆场进行放置,很多清淤工程因为堆场场地的的问题而受到严重制约。高浓度原位环保清淤能够降低清淤过程中泥浆的增容率,在中间输送过程中可以使泥浆含水率得到降低,将淤泥直接变成可以用于填土的土材料使用。因此,为了节省占地和降低整个清淤和淤泥处理的成本,高浓度原位环保清淤技术已经成为未来的发展趋势^[8]。

b. 堆场淤泥快速排水技术。目前大多数内河清淤的淤泥都在堆场中堆放。淤泥堆场经过地基处理,解决其长期沼泽状态的问题后可用于建设、景观、农田利用的土地。而这一地基处理过程就是淤泥固结排水的过程。淤泥黏粒含量高,透水性差,在自重作用下的固结时间长,自重固结后的强度低。淤泥的快速排水固结问题成为一个亟待解决的问题。软黏土地基使用的真空预压法和堆载预压法,对于淤泥往往难以发挥良好的效果^[18-19]。淤泥含水率极高,处于流动状态,颗粒之间的有效应力非常低,在高压抽真空的状态下淤泥颗粒会和间隙水一起流动,从而使排水板出现淤堵而无法排水。如何解决排水系统的淤堵问题成为淤泥快速排水的关

键。堆场淤泥快速排水技术是在淤泥内铺设多层多排水水平排水通道,其层间距、排间距都在60~80cm左右,以形成高密度泥下排水网络。将该网络与地面密封的水平排水管密封连接,再与射流排水装置连接后抽气抽水,可加快淤泥的排水速度。目前这一技术开发和其中的关键问题尚处于探索的初期阶段^[20]。

4 结 语

中小河道、农村河道的清淤工程既有传统清淤的“疏通”目的,也就是解决排涝、防洪、灌溉功能保障的目的,也有改善河道水质,促进生态系统健康,提升河道景观的深层目的。因此,从清淤的前期工作、方案制定、工艺选择、工程实施的所有环节中,必须保证这种“多目的”清淤的特征。

中小河道、农村河道的清淤工程与港口航道和大江大河清淤工程有所不同,具有工程量小、大型船只通行困难、清淤对象含有各种垃圾、性质复杂的特点。从这种特点出发较为简易的清淤技术往往易于采用。无论采用何种技术,河道治理的主要目标——水质改善应该是清淤方法、工艺选择中必须考虑的问题。因地制宜,考虑河道的各种条件,在有条件的情况下选择排干清淤不失为一种现实的选择。在不能够排干的情况下,通过改进的小型泵吸式、绞吸式清淤船可以成为一种选择,也是小河道清淤技术发展的方向。

农村地区有别于沿海城市,具备低洼地带和周转土地的优势,因此在淤泥处理方面也应该突出因地制宜的思想。淤泥在低洼地带堆放后还原为土地利用,无重金属污染淤泥的还田,以及简单处理后作为河堤加固、道路铺设的填土进行使用,是最为适合农村地区的方法。

目前,清淤工程中一些新的技术、新的方法大多数还是为大规模工程和城市地区的工程而开发,中小河道和农村地带的清淤工程设备的适用性问题需要进一步的研究和开发。

参考文献:

[1] 江苏省地方志编纂委员会. 江苏年鉴 2013[EB/OL]. [2014-08-04]. <http://www.jssdfz.com/book/2013Z/index.html>.
[2] 王红,贾仁甫,李章林. 扬州市农村河道现状及综合整治措施[J]. 中国农村水利水电,2010(2):99-102. (WANG Hong, JIA Renfu, LI Zhanglin. The present situation and the measures concerning comprehensive improvement of Yangzhou rural waterways[J]. China Rural Water and Hydropower,2010(2):99-102. (in Chinese))
[3] 金晖军. 浙江省水利疏浚业发展现状调查与对策探讨

[J]. 浙江水利科技,2013,7(4):83-85,94. (JIN Yejun. Investigation and analysis of the current situation of the development of Zhejiang water conservancy dredging industry[J]. Zhejiang Hydrotechnics,2013,7(4):83-85,94. (in Chinese))
[4] 罗成定,詹雄伟. 乡村中小型河道清淤机研制[J]. 江苏农机化,2000(3):19. (LUO Chengding, ZHAN Xiongwei. The development of dredging machine in small rivers in country[J]. Jiangsu Agricultural Mechanization, 2000(3):19. (in Chinese))
[5] 彭建军,井绪东. 常见挖泥船疏浚特性及选型[J]. 浙江水利科技,2004(6):87-88. (PENG Jianjun, JING Xudong. The common characteristics and selection of dredger[J]. Zhejiang Hydrotechnics,2004(6):87-88. (in Chinese))
[6] 朱玉强. 环保疏浚与环保疏浚设备探析[J]. 水利科技与经济,2010,16(10):1118-1120. (ZHU Yuqiang. Analysis of the environmental dredging and dredging equipment of environmental protection [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy,2010,16(10):1118-1120. (in Chinese))
[7] 王小雨,冯江,胡明忠. 湖泊富营养化治理的底泥疏浚工程[J]. 环境保护,2003(2):22-23. (WANG Xiaoyu, FENG Jiang, HU Mingzhong. Eutrophic lake sediment dredging engineering environmental protection [J]. Environmental Protection,2003(2):22-23. (in Chinese))
[8] 颜昌宙,范成新,杨建华,等. 湖泊底泥环保疏浚技术研究展望[J]. 环境污染与防治,2004,26(3):189-192. (YAN Changzhou, FAN Chengxin, YANG Jianhua, et al. Prospect and progress of the study on environmental dredging technology of lake sediment [J]. Environmental Pollution & Control,2004,26(3):189-192. (in Chinese))
[9] 唐晓武. 超软弱废弃土的基本性质及其利用[C]//第一届全国环境岩土工程与土工合成材料技术研讨会文集. 北京:中国建筑工业出版社,2002:81-87.
[10] 来彦伟. 苏州河底泥污染状况及其治理对策[J]. 上海师范大学学报:自然科学版,2000,5(2):85-92. (LAI Yanwei. Sediment pollution in the Suzhou River and its countermeasures [J]. Journal of Shanghai Teachers University: Natural Science, 2000, 5(2):85-92. (in Chinese))
[11] 李磊. 污泥固化处理技术及重金属的污染控制研究[D]. 南京:河海大学,2006.
[12] 李磊,朱伟,赵建,等. 西五里湖疏浚底泥资源化处理的二次污染问题研究[J]. 河海大学学报:自然科学版,2005,33(2):127-130. (LI Lei, ZHU Wei, ZHAO Jian, et al. Research of secondary pollution induced by reutilization of dredged sediment from west Wulihu Lake [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences,2005,33(2):127-130. (in Chinese))

- processes in municipal sewage treatment plants [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28 (22): 22-26. (in Chinese))
- [2] 陆桂华,张建华.太湖水环境综合治理的现状问题及对策[J].水资源保护,2014,30(2):67-70. (LU Guihua, ZHANG Jianhua. Present status and problems of comprehensive treatment of water environment in Taihu Lake and countermeasures [J]. Water Resources Protection,2014,30(2): 67-70. (in Chinese))
- [3] 殷玉蓉.混凝沉淀+砂滤/活性炭工艺深度处理污水处理厂尾水的研究[D].合肥:安徽建筑大学,2014.
- [4] 吴海明,王跃昌,袁佐栋,等.东汶河人工湿地污水处理厂尾水深度处理工程设计[C]//第六届中国城镇水务发展国际研讨会论文集.北京:中华人民住房和城乡建设部,2011:124-127.
- [5] 盛铭军,王秀英.生物接触氧化+沸石生物滤池工艺深度处理城市污水处理厂出水[J].工业用水与废水,2006,37(5):31-33. (SHENG Mingjun, WANG Xiuying. Deeply treatment of effluent water from urban wastewater treatment plant by biocontact oxidation-zeolite biological filter combined process [J]. Industrial Water & Wastewater,2006,37(5): 31-33. (in Chinese))
- [6] JINWOO J, TAIRA H, HIROSHI T, et al. Development of biological filter as tertiary treatment for effective nitrogen removal: biological filter for tertiary treatment[J]. Water Research,2006,40(6): 1127-1136.
- [7] 金亚若,万红友.浅析土壤渗滤技术在再生水处理中的应用[J].环境科学导刊,2012,31(6):72-77. (JIN Yaru, WAN Hongyou. An analysis of soil infiltration technology in the reclaimed water treatment [J]. Environmental Science Survey,2012,31(6): 72-77. (in Chinese))
- [8] 唐运平,张志扬,邓小文.利用城市生态河道深度净化污水处理厂出水的工程技术研究[J].环境工程学报,2009,3(7):1165-1169. (TANG Yunping, ZHANG Zhiyang, DENG Xiaowen, et al. Tertiary treatment of secondarily-treated WWTP effluent by ecological river [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering,2009,3(7): 1165-1169. (in Chinese))
- [9] SUN Lianpeng, LIU Yang, JIN Hui. Nitrogen removal from polluted river by enhanced floating bed grown canna [J]. Ecological Engineering,2009,35(3):135-140.
- [10] 王珺.组合稳定塘系统对污水处理厂 CAST 工艺出水深度处理试验研究[D].重庆:重庆大学,2011.
- [11] EMRE A, MELCHING C S. Allocation of supplementary aeration stations in the Chicago waterway system for dissolved oxygen improvement [J]. Journal of Environmental Management,2011,92(6): 1577-1583.
- [12] 聂青,孙丽娜,崔广柏.生态护坡技术在城市河道整治中的应用[C]//中国河道治理与生态修复技术专刊.北京:中国水利技术信息中心,2010:7-11.
- [13] SHENG Yanqing, QU Yingxuan, DING Chaofeng, et al. A combined application of different engineering and biological techniques to remediate a heavily polluted river [J]. Ecological Engineering,2013,57: 1-7.
- [14] 国家环保局.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002.

(收稿日期:2014-10-31 编辑:彭桃英)

(上接第 62 页)

- [13] 刘青松,张春雷,汪顺才,等.淤泥堆场人工硬壳层地基极限承载力室内模拟研究[J].岩土力学,2008(增刊1):667-670. (LIU Qingsong, ZHANG Chunlei, WANG Shunca, et al. Laboratory simulation study of the ultimate bearing capacity of the manmade crust over dredged wastes dump sites [J]. Rock and Soil Mechanics, 2008 (S1): 667-670. (in Chinese))
- [14] 邓东升,洪振舜,刘传俊,等.低浓度疏浚淤泥透气真空泥水分离模型试验研究[J].岩土工程学报,2009,31(2):250-253. (DENG Dongsheng, HONG Zhenshun, LIU Chuanjun, et al. Large-scale model tests on dewater of dredged clay by use of ventilating vacuum method [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31 (2): 250-253. (in Chinese))
- [15] SHANG J Q, TANG M, MIAO Z. Vacuum and preloading consolidation of reclaimed land: a case study [J]. Can Geotech, J, 1998, 35 (5): 740-749.
- [16] HAMER K, KARIUS V. Brick production with dredged harbour sediments: an industrial-scale experiment [J]. Waste Management, 2002, 22 (5): 521-530.
- [17] 王中平,徐基璇.利用苏州河底泥制备陶粒[J].建筑材料学报,1999,2(2):176-181. (WANG Zhongping, XU Jixuan. Manufacture of ceramsite by using Suzhou River sediment [J]. Journal of Building Materials, 1999, 2 (2): 176-181. (in Chinese))
- [18] 赵晓维.北京城市河湖环保清淤新技术[J].北京水利,2000(1):19-20,31. (ZHAO Xiaowei. Environmental dredging technology in Beijing urban rivers and lakes [J]. Beijing Water Resources, 2000 (1): 19-20, 31. (in Chinese))
- [19] 彭劼.真空堆载联合预压法加固机理与计算理论研究[D].南京:河海大学,2003.
- [20] 周源,高玉峰,陶辉,等.透气真空快速泥水分离技术对淤泥水分的促排作用[J].岩石力学与工程学报,2010(增刊1):3064-3070. (ZHOU Yuan, GAO Yufeng, TAO Hui, et al. Drainage-promotion effect of aeration vacuum rapid mud-water separating technique on dredged sludge [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010 (S1): 3064-3070.

(收稿日期:2014-12-10 编辑:高渭文)