

东钱湖底泥环境特征与疏浚方案

冉光兴,曹 卉,李 巍

(水利部上海勘测设计研究院,上海 200434)

摘要 在目前以环境和生态治理为目的的底泥疏浚工程中尚无相应的技术标准和规范为指南的情况下,以宁波东钱湖水环境综合整治可行性研究成果为基础,制定了东钱湖底泥环保疏浚方案。详细阐述了该方案涉及的主要内容:底泥污染特性及污染状况分析,疏浚平面范围、疏浚深度及疏浚工程规模的确定,疏浚底泥处置及余水处理等。

关键词 湖泊底泥 底泥污染 底泥疏浚 东钱湖

中图分类号:TV851 X820.1 **文献标识码**:B **文章编号**:1006-7647(2007)02-0073-04

Environmental characteristics and dredging scheme for sediment of Dongqian Lake//RAN Guang-xin, CAO Hui, LI Wei (Shanghai Investigation, Design & Research Institute of Ministry of Water Resources, Shanghai 200434, China)

Abstract: Under the condition that there is lack of technical standards and specifications for planning, design and construction in sediment dredging aiming at environmental and ecological regulation, a sediment dredging scheme for Dongqian Lake was formulated based on the research result of the feasibility of comprehensive water environment regulation for Dongqian Lake of Ningbo City. The main contents related to the scheme were introduced as follows: the characteristics and status of sediment pollution, the determination of the range, the depth, and the scale of sediment dredging projects, the treatment of dredged sediment, the disposal of the remaining water, etc.

Key words: sediment of lake; sediment pollution; sediment dredging; Dongqian Lake

1 东钱湖概况

东钱湖位于宁波市区东南约 15 km 处,原是地质时期遗留下来的一个海迹湖泊,晋朝已成雏形,唐天宝三年(744 年)将湖西北山间缺口筑坝封闭,后经历代整治疏浚,逐渐形成现在规模的人工湖泊^[1]。东钱湖湖区由谷子湖、北湖和南湖 3 个部分组成,正常蓄水位下湖泊面积 19.91 km²,湖容 4 429 万 m³,平均水深 2.2 m,为典型的平原浅水湖泊。东钱湖是鄞东南平原的主要灌溉水源和宁波市规划的后备水源地,也是浙东著名的旅游胜地和风景名胜區。

东钱湖的西北面为平原,其余 3 面为山丘环抱,流域集水面积 79.1 km²,环湖溪流众多,有 72 条溪流入湖,但入湖溪流大多源短流急、规模较小,较大的溪流有下水溪、上水溪、韩岭溪、象坎溪等,最大的下水溪河长为 7.1 km。东钱湖岸线蜿蜒曲折,湖区周长约 45 km,目前环湖分布有东钱湖镇的 18 个自然村,常住人口约 2 万人。

由于长期以来受环湖分布的数十户企事业单位排污以及 2 万多居民生活污染的影响,东钱湖底不

断淤积与污染,水体自净能力下降,水质状况呈不断恶化的趋势。近 10 年的监测资料显示,湖区现状水质仅为国家地表水环境质量的Ⅳ~Ⅴ类,部分水体已出现明显的富营养化特征^[2]。为遏止东钱湖水环境继续恶化,改善和提升东钱湖的水环境质量,宁波市提出了东钱湖水环境综合整治工程计划,其中疏浚受污染底泥、控制湖泊底泥内污染,是东钱湖环境综合治理工程中的重要内容之一。

2 东钱湖底泥特性及污染状况

为了了解和掌握东钱湖底泥淤积分布与污染特性,给底泥疏浚工程制定方案提供科学依据,2004 年 9~10 月水利部上海勘测设计研究院和中国科学院南京地理与湖泊研究所合作,开展了东钱湖历史上第 1 次以底泥环境为主的专项调查,根据湖泊形态及污染特征,在整个东钱湖区共布设底泥调查与监测点 21 个,采集不同深度的底泥柱状样进行底泥物理特性、化学含量分析,表层底泥即测分析,底泥静态释放和动态释放试验等调查与监测分析工作。底泥物化分析根据《土壤理化分析》^[3]的有关规定,

进行了以下 4 个方面的调查与监测分析。

2.1 底泥物理特性

2.1.1 底泥土层结构及分层特征

东钱湖底泥主要来源于 3 个方面 :①泻湖在形成过程中沿海岸流和潮汐携带的泥沙沉积 ;②环湖 72 条溪流水土流失带入湖内各种无机及有机颗粒沉积 ;③湖体内水生生物的死亡残体和排泄物。勘探调查结果显示,东钱湖区 95% 以上面积的底泥土自上而下分层构造为流泥—淤泥质黏土—淤泥—淤泥质黏土(或黏土)的结构,见图 1。表层流泥厚度 0.1~0.5 m,湿密度约 1.2~1.5 g/cm³,密度小、质量轻 ;第 2 层淤泥质黏土厚度 0.2~2.1 m,湿密度约 1.6~1.8 g/cm³,相对致密 ;第 3 层淤泥厚度 0.91~10.9 m,湿密度约 1.5~1.7 g/cm³,相对松软 ;第 4 层淤泥质黏土或黏土厚度 1.0~1.3 m,含铁锰质结核及氧化物,湿密度约 1.8~2.0 g/cm³,致密稳定。其中第 2 层淤泥质黏土与第 4 层淤泥质黏土(黏土)之间夹有相对松软的第 3 层淤泥,底泥土构造呈现为夹心饼结构这种特殊的分层特征。

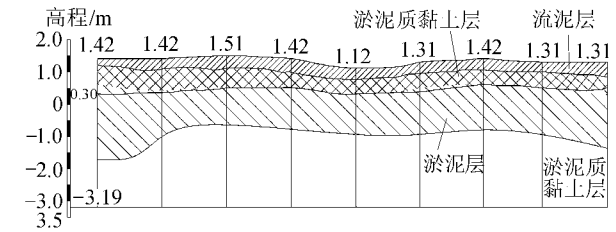


图 1 东钱湖底泥分层构造

2.1.2 底泥土的粒度特征

东钱湖沉积底泥的粒径组成特征以粉粒、黏粒等较小的细颗粒为主。底泥沉积物中 5~50 μm 的粉粒平均含量为 68.5%,1~5 μm 的粗黏粒含量为 24.5%,粒径小于 1 μm 的细黏粒含量为 7.0%,全湖底泥土颗粒物平均中值粒径 $D = 9.13 \mu\text{m}$ 。底泥颗粒物粒度特征见表 1。

表 1 东钱湖底泥颗粒物粒度组成					
统计指标	中值粒径/ μm	平均体积 粒径/ μm	< 1 μm 黏粒 / %	1 ~ 5 μm 粗黏粒 / %	5 ~ 50 μm 粉粒 / %
最小值	6.30	8.06	4.03	18.09	56.85
最大值	11.58	17.16	10.60	34.00	76.88
平均值	9.13	12.25	7.00	24.50	68.50

2.2 表层底泥即测项目分析

东钱湖表层底泥即测项目分析了 pH 值、Eh 值以及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 的质量比,结果见表 2。

由表 2 可见 :东钱湖表层底泥 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 的质量比都较高 ;pH 值较低,偏弱酸性 ;全湖底泥 Eh 值均值为 134 mV,属中度还原状态。这些指标反映了东钱湖表层底泥在调查期间处于有利于污

染物质释放的还原环境,存在潜在污染风险。

表 2 东钱湖表层底泥即测项目的监测结果

湖 区	pH 值	Eh 值/ mV	$w(\text{NH}_3\text{-N})$ / ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	$w(\text{Fe}^{2+})$ / ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	$w(\text{Mn}^{2+})$ / ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
谷子湖	6.06	132	265.9	7.7	267.4
北 湖	6.19	118	288.1	17.5	162.1
南 湖	6.00	147	249.8	5.2	169.8
全湖平均	6.08	134	266.7	10.3	180.8

注 : $\text{NH}_3\text{-N}$ 为干质量, Fe^{2+} 和 Mn^{2+} 为可提取态干质量。

2.3 底泥化学特性

用管式采样器分层采集 0~10 cm,10~20 cm,20~40 cm,40~60 cm,60~100 cm,100 cm 以下层位的底泥柱状样品,对底泥的有机质、总氮、总磷等 3 项营养盐指标,汞、铬、砷、铜、铅、镉等 6 项重金属指标进行分析,结果见表 3 和表 4。

表 3 东钱湖底泥中主要营养物质质量分数 %

深度/cm	$w(\text{OM})$	$w(\text{TN})$	$w(\text{TP})$
0~10	5.80	0.28	0.038
10~20	5.39	0.23	0.032
20~40	5.36	0.23	0.026
40~60	3.12	0.15	0.030
60~100	2.11	0.09	0.043
100	2.42	0.10	0.050
全湖平均	4.24	0.19	0.035

注 :太湖底泥主要营养物质质量分数平均值^[4] : $w(\text{OM}) = 1.56$, $w(\text{TN}) = 0.051$, $w(\text{TP}) = 0.098\%$ 。

表 4 东钱湖底泥重金属含量 mg/kg

对照项目	$w(\text{Hg})$	$w(\text{Cr})$	$w(\text{As})$	$w(\text{Cu})$	$w(\text{Pb})$	$w(\text{Cd})$
东钱湖底泥	0.031	51.4	8.23	28.8	43.3	0.99
GB 15618—1995 《土壤环境质量 三级标准》	1.5	400	30	400	500	1.0
宁波地区 土壤背景值 ^[5]	0.048	70.1	7.4	23.0		

由表 3 和表 4 可见,东钱湖底泥中重金属含量总体处于较低水平,除 Cd 接近 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》三级标准外,底泥中其他重金属指标均远低于三级标准,表明东钱湖底泥尚未受到重金属污染。但底泥中 OM 和 TN 质量分数平均值分别为太湖底泥平均值的 2.7 倍和 3.7 倍,说明东钱湖底泥的有机质、总氮等有机污染严重。

2.4 底泥静态与动态释放试验

底泥释放试验进行了氮、磷、TOC 在正常状态下的静态释放和不同扰动状态下的动态释放研究,释放试验结果为 : $\text{NH}_3\text{-N}$ 平均释放速率最大达到 75.7 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,最小为 -0.6 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$;DTN 平均释放速率最大达到 60.6 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,最小为 -26.7 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$;TOC 平均释放速率最大达到 94.11 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,最小为 -76.25 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$; PO_4^{3-} 中 P 释放速率在 -0.58~0.54 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 之间,DTP 释放速率在 -1.64~0.86 $\text{mg}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 之间。从底泥

释放试验结果看,东钱湖底泥中的 $\text{NH}_3\text{-N}$,DTN,TOC 总体上处于释放状态,表明底泥对水环境具有潜在污染的风险。

3 底泥环保疏浚方案

3.1 疏浚规模

3.1.1 疏浚区域

东钱湖底泥疏浚以清除受污染底泥、控制底泥内源污染、改善水环境质量为主要目的,因此,疏浚区域范围首先需要依据底泥的分布及污染状况,优先考虑对底泥污染相对较重的湖区进行清淤,同时结合湖区现状水生生物保护要求、湖底供水管线和通信电缆等工程设施安全保障、疏浚环境经济效益等因素综合确定。经分析,以底泥营养盐含量超过全湖平均值或环境质量背景值 1.5 倍以上为基准,制定的疏浚控制标准为:底泥 OM 质量分数大于 6.36%,TP 质量分数大于 0.0525%,TN 质量分数大于 0.285%。确定东钱湖疏浚的区域主要有:①底泥污染较重、对湖泊功能与景观生态影响较大、人口分布密集的谷子湖近岸区、陶公山沿岸湖区;②北湖五里塘湖区;③南湖大堰塘湖区、南湖郭家峙湖区,下水溪、上水溪等主要河道的入湖口等。疏浚区域共计 20 个区块,疏浚面积 519.20 hm^2 ,约占整个东钱湖面积的 26%。见图 2。

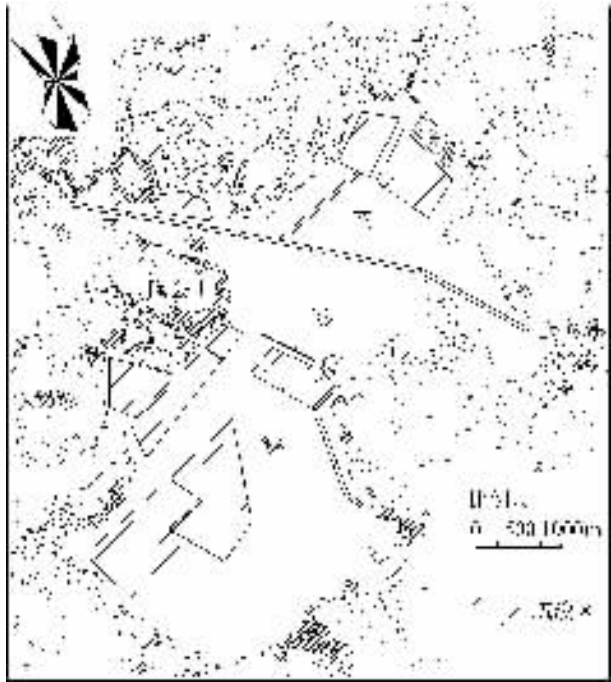


图 2 东钱湖疏浚区域位置示意图

3.1.2 疏浚深度

底泥疏浚太浅不能有效去除污染物质,疏浚过深既会破坏性地改变湖底形态和底栖水生生物环境,又会削弱湖泊底泥对外源性污染物输入后的缓

冲能力,给后期的生态修复增加困难,因此,强调适度疏浚和薄层清淤是生态环境疏浚的重要特征,也是生态环境疏浚设计方案中的关键内容之一。东钱湖底泥疏浚深度确定主要考虑到 3 个方面的因素:①湖区底泥土特殊的分层构造。第 2 层淤泥质黏土与第 4 层淤泥质黏土(或黏土)密实度较高、黏性大、透水性弱,对相对松软的第 3 层淤泥而言,具有上下“隔水顶底板”的作用,尤其是第 2 层淤泥质黏土既较好地阻止了污染较重的表层流泥向下层底泥的污染迁移扩散,又阻止了下层淤泥中污染物向上交换,对底泥疏浚深度具有重要的控制意义,疏浚深度应以不将此层挖穿为限。②湖区不同部位底泥营养盐含量垂直分布特征。从沉积相序规律看,通常湖泊底泥受自然和人类活动影响而含有较丰富的氮、磷和有机质等营养物,其中受近代工业污染和人类活动影响较大的表层底泥污染较为严重,大多表现为污染物含量随深度增加而下降。东钱湖底泥中 TOC,TN,TP 等营养物质也具有明显的表层含量较高、下层含量较低的垂向梯度变化特征,表层 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 层位是营养盐含量的高值区,OM 质量分数平均为 3.89% ~ 6.58%,TN 质量分数平均为 0.18% ~ 0.28%,TP 质量分数平均为 0.023% ~ 0.06% 中间 40 ~ 60 cm 层位的营养盐含量下降变化较剧烈,呈现过渡层的特征;60 cm 以下层位营养盐含量总体上趋于稳定,下降缓慢。③水下疏浚施工经济性可控制精度。目前国内外常见生态环保疏浚设备在工程应用中垂直控制精度为 10 cm 左右。

据此,确定东钱湖底泥疏浚深度主要在 0.3 ~ 0.6 m,局部湖区结合不同层位底泥污染的特殊性质以及湖底地形、旅游区航道水深等,确定底泥疏浚深度为 0.8 m。

3.1.3 疏浚规模与工程量

根据已确定的疏浚区平面范围和疏浚深度,初步确定了东钱湖各湖区的底泥疏浚规模与工程量,见表 5。

表 5 东钱湖底泥疏浚工程量

湖区名称	疏浚面积/ hm^2	疏浚深度/cm	疏浚工程量/ 10^4m^3
谷子湖	52.90	30 ~ 60	30.1
北湖	106.40	60 ~ 80	71.5
南湖	311.86	40 ~ 60	178.5
入湖河口及沿岸带	48.02	30 ~ 40	15.9
全湖合计	519.20	30 ~ 80	296.0

3.2 疏浚方式及设备选型

为保证东钱湖底泥疏浚效果,需要采用适当的疏浚方式及选用合适的机械设备。目前国内外湖泊底泥疏浚方法主要有两种,一种是抽干湖水后的干

水疏浚,另一种是直接从水下挖泥的带水疏浚。由于东钱湖是著名的风景旅游区,又是东钱湖镇居民现状的供水水源地,具有的防洪、灌溉、供水、旅游、养殖等多种功能要求,湖水不宜也不允许抽干,因此,选择对湖泊各种功能影响最小的带水疏浚施工方法较为合适。目前用于底泥疏浚的机械设备种类较多,根据东钱湖的现状,经综合比较各疏浚机械设备的挖泥及排泥方式、疏浚能力、环保效果、船舶吃水深度、技术经济性等,推荐选用以环保绞吸式挖泥船为主的疏浚设备,对人类活动较为频繁的湖岸带浅水区,由于垃圾等杂物较多,选用 0.75 m^3 抓斗式挖泥船进行疏浚。疏浚施工中要求底泥扰动扩散半径控制不超过 5 m ,疏浚水平定位精确控制在 $0.5\sim 1\text{ m}$,垂直精度控制在 $5\sim 10\text{ cm}$,做到精确疏浚和清洁生产。

3.3 疏浚底泥的处置与利用

东钱湖底泥疏浚总量较大,达 296 万 m^3 ,合理处置这些淤泥十分重要。目前国内底泥疏浚工程一般采用排泥场自然堆存的方法进行处置,这种处理方式虽然简单方便,处理费用也较低,但底泥干化固结缓慢,需要长时间占用大量土地资源,而且底泥中所含的氮、磷及有机污染物等在淋溶和浸出作用下可能向周边环境扩散造成二次污染。因此,对宁波东钱湖区这类土地紧张、经济较发达地区,底泥处置不宜采用传统的排泥场自然堆存方法。根据东钱湖疏浚底泥属于高含水量、高有机质的淤泥土类的性质,经过广泛调研分析和技术经济比较,推荐采用人工强化的低位真空预压固结脱水技术处置底泥,经工程现场生产性规模试验,脱水固结处理后的淤泥半年左右含水率可降至接近天然土的水平,与排泥场自然堆存需要 $3\sim 5$ 年占地相比,可以大大缩短对土地资源的占用,经处理后的疏浚底泥土体承载力可达到 $6\sim 8\text{ t/m}^2$,适应于各种建设用土要求,实现了疏浚土资源的循环利用。

3.4 排泥场余水处理

排泥场余水是环保绞吸式水下疏浚方式时产生的工艺废水(尾水)。由于余水中含有大量富含于底泥中的污染物质,若随意排放极易对周边水体造成二次污染,因此,必须重视余水的处理和排放水质的控制。目前我国还没有统一的疏浚工程余水排放标准,也缺乏成熟的处理技术,一般疏浚工程多采用排泥场内自然静沉的方法处理余水,因受排泥场容积的限制,往往在疏浚吹填工程的中后期甚至初期,都难以提供足够的静沉时间,造成含大量污染物质的高浊度余水排放对受纳水环境的污染事故。为此,

2005 年 6~9 月水利部上海勘测设计研究院环保分院的工程技术人员在东钱湖进行了疏浚底泥土沉降特性及余水处理的现场试验研究。通过一系列的物理处理、生物净化处理、化学混凝处理效果的室内试验和室外观测、对比分析,获得了上千组有价值的试验数据,掌握了物理沉淀、生物净化、化学混凝处理需要的沉淀时间,化学混凝处理的混凝剂种类、最佳投药剂量等重要参数,试验结果表明,以物理处理结合化学絮凝处理的方式处理疏浚工程余水是技术经济可行的,根据需要可以将疏浚余水中 SS 排放值控制在 $70\sim 450\text{ mg/L}$,满足 GB8978—1996《污水综合排放标准》中一级至三级标准的容许排放要求,处理后的余水其他环保指标接近天然水体情况,可排回湖中,实现水资源的循环利用。

4 结 语

从国内外大量底泥疏浚工程的实践看,底泥疏浚工程的效果与疏浚方案密切相关。由于目前国内尚未有相应的底泥污染评价标准,也没有相关的生态环保疏浚技术规范、导则,因此,如何科学制定疏浚工程方案尚处于探索过程中。根据国内外有关疏浚工程的实践经验及笔者的工作体会,制定了以生态环境为目标的东钱湖湖泊底泥疏浚方案,开展了底泥分布与污染特性调查,底泥污染程度评价,底泥污染地点、疏浚深度、疏浚规模论证,疏浚方法和疏浚设备比选,疏浚底泥处置和余水处理技术研究,疏浚底泥与上覆水体、底栖生物及水中植物三者之间相互关系的研究等。应该看到,底泥内源污染归根结底是外源性污染物质长期输入的结果,底泥疏浚只是湖泊污染综合治理中的技术手段之一,底泥疏浚要取得控制内源污染的良好效果并长效持久,必须以外源污染治理为前提,有后期生态修复技术措施相配合。

参考文献:

- [1] 缪复元.鄞县水利志[M].南京:河海大学出版社,1992.
- [2] 李学山,冉光兴,杜心慧,等.宁波市东钱湖综合整治工程可行性研究报告[R].上海:水利部上海勘测设计研究院,2005.
- [3] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科技出版社,1978.
- [4] 成新,江溢,张永健,等.太湖底泥与污染情况调查[R].上海:水利部太湖流域管理局,2003.
- [5] 黄忆芝.宁波市土壤环境背景值及其分异特征[J].环境污染与防治,1991,13(1):25-27.

(收稿日期:2005-11-07 编辑:高建群)