

# 湖泊河流环保疏浚 工程技术指南

金相灿 李进军 张晴波 主编



科学出版社

# 湖泊河流环保疏浚工程技术指南

金相灿 李进军 张晴波 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书以大量的工程实践为基础,较为系统、全面地论述了湖泊河流环保疏浚的理论、技术方法和工程应用,以促进我国湖泊河流环保疏浚工作的有序发展,确保环保疏浚工程在湖泊河流治理中的效果。全书共 16 章,对环保疏浚的理念与工程效益、污染底泥的分类及疏浚要求、环保疏浚工程的总体设计、技术特点、工程勘测、疏浚设备及其选择、污染底泥疏挖设计、堆场的选择与设计、疏浚污泥的余水处理、环保疏浚的二次污染防治、疏浚污泥无害化与资源化利用、疏浚工程施工组织设计方案、工程监理与环境监测、工程效益评估、环保疏浚成本以及工程招投标中需要注意的事项等进行了详细的阐述,最后对国内外重要环保疏浚工程项目实例进行了论述。

本书可供从事水环境保护、环境工程、水利和流域管理方面的科研人员、工程技术人员、管理人员以及环境科学和环境工程等相关专业的大专院校师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

湖泊河流环保疏浚工程技术指南/金相灿,李进军,张晴波主编. —北京:科学出版社,2013

ISBN 978-7-03-037341-0

I. ①湖… II. ①金… ②李… ③张… III. ①湖泊-疏浚工程-指南 ②河道整治-疏浚工程-指南 ③湖泊-环境保护-指南 ④河流环境-环境保护-指南 IV. ①TV876-62 ②X321-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 079509 号

责任编辑:杨震 刘冉 / 责任校对:何艳萍  
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013 年 5 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2013 年 5 月第一次印刷 印张: 13 1/4

字数: 267 000

定价: 60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 《湖泊河流环保疏浚工程技术指南》编委会

主    编：金相灿  李进军  张晴波  
副  主  编：姜  霞  荆一凤  孔海南  
编    委：金相灿  李进军  张晴波  荆一凤  
          孔海南  姜  霞  田桂平  杨建华  
          杜劲冬  胡小贞  陈荷生  何圣兵  
          郑朔方  王雯雯  张  晔  赵东华  
          江  帅  石泽敏  
技术总指导：周  海  柳惠青  
总  校  审：刘树东

## 前 言

近几十年来,经济的快速增长和人类活动的干扰,加速了污染物向湖泊河流的输送。富营养化已经成为我国,乃至世界范围内水环境面临的主要问题和难题。根据《2011年中国环境状况公报》,全国地表水总体为轻度污染,湖泊水库富营养化问题仍然突出。26个国控重点湖泊水库中Ⅰ~Ⅲ类、Ⅳ~Ⅴ类和劣Ⅴ类水质的湖泊水库比例分别为42.3%、50.0%和7.7%。其中,富营养状态的湖泊占53.8%,中营养状态的占46.2%。

多年的研究和实践证明,湖泊、河流水体修复是一项系统而复杂的综合性工程,必须采取控源、截污、生态修复与科学管理为一体的系统而综合的治理模式。湖泊河流污染物的来源可分为内源污染和外源污染,底泥作为湖泊河流水体各种污染物的主要蓄积场所,是其主要内源。当外源污染得到有效控制,污染底泥就成为了湖泊河流的主要污染源,其营养盐的释放可使富营养化状态维持数十年,同时对水生态系统构成长期威胁。因此,在有效控制外源污染的同时,治理污染底泥对于后续的湖泊河流水生态恢复和重建具有重要意义。

污染底泥环保疏浚工程作为最直接、最快速清除内源污染的途径之一,已经在国内外得到了广泛的应用。我国湖泊底泥疏浚早在20世纪50年代就已经开始,如杭州西湖,当时完成了第一次疏浚工程,主要解决底泥淤积问题。近年来以改善湖泊、河流水环境与控制富营养化为目的,我国先后在太湖、杭州西湖、滇池、巢湖、长春南湖、南昌八一湖、广州东山湖、云南杞麓湖、大理洱海、北京颐和园昆明湖等湖泊进行了污染底泥环保疏浚工程;同时太湖流域开展了大量的重污染河道底泥生态疏浚工程。这些疏浚工程在其他措施的配合下,多数缓解了水体的污染状况,如滇池的草海,一期环保疏浚工程实施后,草海水质有了明显改善,透明度由原来小于0.37 m提高到0.80 m,局部达到1 m多,并且消除了草海疏浚前的水质黑臭现象;巢湖东端的环保疏浚工程实施后,工程区水体蓝藻水华暴发大幅减少,城市集中式水源地水质显著改善,工程取得了良好效果;太湖流域消除了部分的黑臭河道,河流水质和生态状况得到有效改善。

但是,通过环保疏浚措施去除湖泊、河流污染底泥中的营养盐及重金属等污染物是一项系统工程,要求思考全面,设计缜密,并与其他湖泊污染防治技术紧密结合,否则可能适得其反,甚至失败。事实上,环保疏浚技术与一般工程疏浚(水利、港湾等)无论从工程目的还是技术要求上,均有较大的差异。环保疏浚在环保疏浚精度、疏浚过程的二次污染防治、污染底泥的安全处理处置等方面的要求要远远高

于传统的工程疏浚。因此环保疏浚技术是以改善湖泊河流水质、恢复自然生态系统为目标要求,在工程疏浚基础上发展起来的一项全新的湖泊河流水污染治理的系统技术。

自 1991 年开始,本书主编单位对湖泊河流污染底泥环保疏浚技术开展了长期的理论研究与技术研发,同时开展了一系列湖泊与河流的环保疏浚工程的可行性研究报告编制、工程初步设计与施工图设计,积累了大量的技术与经验。但目前国内在环保疏浚方面尚没有统一的技术指南,设计和施工单位往往依靠自身对污染底泥环保疏浚问题的理解、认识和经验来开展工作,有时污染底泥疏挖后的水质及水生态效果难以保证。为了进一步促进我国湖泊河流环保疏浚工作的有序发展,确保环保疏浚工程在湖泊河流治理中的效果,特编制此环保疏浚技术指南,谨供业内同行参考使用。

由于本书内容涉及多个学科和行业,有论述不到位或需要商榷的地方,请各位读者不吝赐教!

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 环保疏浚的理念与工程效益</b> .....	1
1.1 环保疏浚理念 .....	1
1.1.1 环保疏浚的定位——湖泊河流水污染治理工程技术 .....	1
1.1.2 环保疏浚的对象——湖泊河流水体污染底泥沉积区 .....	2
1.1.3 环保疏浚的理念——以湖泊河流水污染防治理念为指导 .....	3
1.2 环保疏浚的工程效益 .....	3
1.2.1 环保疏浚目的 .....	3
1.2.2 工程效益 .....	3
1.3 环保疏浚技术的应用条件 .....	6
1.3.1 外源污染控制和治理是环保疏浚实施的基础和前提条件 .....	6
1.3.2 局部重点疏挖治理符合湖泊生态学规律和经济水平现状,是环保疏浚的重要原则 .....	6
1.3.3 环保疏浚需与生态重建有机结合才能达到良好效果 .....	7
参考文献 .....	7
<b>第 2 章 污染底泥分类及疏浚要求</b> .....	9
2.1 污染底泥分类 .....	9
2.1.1 营养盐污染底泥 .....	9
2.1.2 重金属污染底泥 .....	9
2.1.3 有毒有害有机污染底泥 .....	9
2.2 环保疏浚要求 .....	10
2.2.1 营养盐污染底泥环保疏浚技术要求 .....	10
2.2.2 重金属及有毒有害有机污染底泥环保疏浚技术要求 .....	10
参考文献 .....	11
<b>第 3 章 环保疏浚工程的总体设计</b> .....	13
3.1 环保疏浚工程的指导思想 .....	13
3.2 环保疏浚工程设计的技术路线 .....	13
3.3 环保疏浚工程方案设计 .....	15
3.3.1 工程区调查与勘测 .....	15
3.3.2 工程区划分与工程量估算 .....	17

3.3.3	疏浚方案设计	19
3.3.4	工程投资与效益估算	20
3.4	环保疏浚工程的设计要求	20
3.4.1	环保疏浚工程阶段划分	21
3.4.2	研究设计阶段的具体要求和内容	21
	参考文献	23
<b>第4章</b>	<b>环保疏浚的技术特点</b>	<b>24</b>
4.1	精确勘测与薄层疏浚	24
4.1.1	现场勘测精度要求高,需要检测底泥的物理化学性质	24
4.1.2	要选择适宜的环保疏浚施工设备以满足工程需要	24
4.1.3	施工过程中需要进行精确监控	24
4.2	细颗粒去除与防扩散	25
4.2.1	细颗粒及其扩散途径	25
4.2.2	施工过程中的防扩散	25
4.2.3	输送过程中的防扩散	25
4.2.4	余水处理	25
4.3	污染底泥的处理与处置	26
4.4	环保疏浚中的生态特点	26
4.4.1	环保疏浚与生态修复相结合	26
4.4.2	合理确定工程实施时间	27
	参考文献	27
<b>第5章</b>	<b>环保疏浚工程的勘测</b>	<b>28</b>
5.1	疏浚区底泥污染物勘测	28
5.1.1	项目建议书前期调查采样设备	28
5.1.2	项目建议书前期调查采样点位与布设	29
5.1.3	样品层次划分	30
5.1.4	样品分析	31
5.2	污染底泥垂直深度勘察	31
5.2.1	定位方式和设备	32
5.2.2	采样设备	33
5.2.3	采样间距	36
5.2.4	精度要求	37
5.3	底泥环保疏浚范围的确定	38
5.3.1	顶板图测量	38
5.3.2	底板图绘制要求	40



5.4	疏挖区底泥物理力学指标的确定	41
5.4.1	指标确定	41
5.4.2	试验方法及设备	42
5.5	堆场勘测	43
5.5.1	堆场测量	43
5.5.2	堆场勘察	44
5.5.3	堆场周边地质调查	48
5.6	输送路线及回水路径的调查与勘测	48
5.6.1	输送路线的调查与勘测	49
5.6.2	回水路径的调查与勘测	49
<b>第6章</b>	<b>环保疏浚设备及其选择</b>	<b>51</b>
6.1	国外环保疏浚设备及其发展	51
6.1.1	环保疏浚设备的特点及组成	51
6.1.2	国外环保疏浚设备介绍	51
6.2	环保挖泥机具	59
6.2.1	IHC 环保绞刀	59
6.2.2	国产环保疏浚绞刀	59
6.2.3	KURINSUIPA 2号挖泥船的环保挖掘头	60
6.2.4	美国 Cable Arm 公司生产的环保型抓斗	61
6.2.5	TOYO 高浓度泥浆挖掘与泵送系统	61
6.2.6	刮扫式挖掘头	62
6.3	精确定位监控疏浚系统	63
6.3.1	系统组成	63
6.3.2	系统功能	64
6.3.3	应用情况	65
6.4	环保疏浚设备选择	65
6.4.1	污染底泥性质与物理状态	66
6.4.2	疏浚施工环境与条件	67
6.4.3	不同环保疏浚设备综合性能比较	67
<b>第7章</b>	<b>污染底泥疏挖设计</b>	<b>69</b>
7.1	疏挖方案制定基础	69
7.1.1	污染底泥的分布与工程实施重点区	69
7.1.2	考虑生态修复条件	69
7.2	疏挖区划分	69
7.2.1	划分原则	69

7.2.2	划分方法	69
7.2.3	疏浚工程量计算方法	70
7.3	疏浚施工方法	70
7.4	设计施工水位的确定	70
7.5	环保疏浚施工工艺流程	70
7.6	污染底泥输送方式	71
7.6.1	管道输送	71
7.6.2	汽车输送	71
7.6.3	船舶输送	71
<b>第8章</b>	<b>堆场选择与设计</b>	<b>72</b>
8.1	堆场选择	72
8.1.1	选择原则	72
8.1.2	堆场的确定	72
8.2	堆场设计	73
8.2.1	堆场型式	73
8.2.2	堆场容积	73
8.2.3	围埝设计	73
8.2.4	堆场排水口设计	74
8.2.5	余水应急净化处理设施	76
8.3	堆场外排水通道设计	77
8.3.1	排水通道选线原则	77
8.3.2	结构型式	77
8.3.3	排水通道流量计算	77
8.4	临时堆场恢复	79
8.5	堆场的后处理	79
8.5.1	堆场快速脱水	79
8.5.2	堆场快速植草	90
	参考文献	92
<b>第9章</b>	<b>疏浚污泥的余水处理</b>	<b>93</b>
9.1	余水处理标准的确定	93
9.1.1	主要控制污染物	93
9.1.2	余水处理建议标准	93
9.2	余水处理设施与措施	95
9.2.1	余水处理量的确定	95
9.2.2	余水处理的堆场结构设计与疏浚作业合理安排方法	95

9.2.3	余水投药促沉方法	96
9.2.4	余水处理构筑物设计	100
9.3	其他余水处理新技术	109
9.3.1	含重金属余水处理技术	109
9.3.2	含有毒有害难降解有机物余水的处理工艺	109
9.3.3	含重金属和有毒有害难降解有机物复合污染余水的处理工艺	111
	参考文献	111
<b>第 10 章</b>	<b>环保疏浚的防二次污染</b>	<b>112</b>
10.1	防细颗粒的扩散	112
10.1.1	防细颗粒的扩散工艺与设备	112
10.1.2	防细颗粒扩散效果检测	113
10.2	疏浚过程中的防臭	114
10.2.1	臭味成分的测定	114
10.2.2	臭气的控制	115
10.3	堆场的防二次污染措施	116
10.3.1	堆场围堰防侧渗	116
10.3.2	堆场底部防渗设计	117
10.3.3	堆场顶部防冲刷	118
10.4	污染底泥堆场土壤生态修复	119
10.4.1	含营养盐底泥堆场土壤生态修复	120
10.4.2	重金属污染堆场土壤生态修复	120
10.4.3	有毒有机污染物堆场土壤生态修复	123
10.5	管理措施	125
	参考文献	126
<b>第 11 章</b>	<b>疏浚污泥的无害化与资源化利用</b>	<b>127</b>
11.1	污染底泥无害化	127
11.1.1	物理化学法	127
11.1.2	生物工艺	129
11.2	底泥资源化利用	129
11.2.1	制造建工材料技术	129
11.2.2	土地利用技术	130
11.3	其他无害化、资源化利用新技术	130
11.3.1	其他底泥无害化技术	130
11.3.2	其他底泥资源化利用技术	132
	参考文献	132

<b>第 12 章 环保疏浚工程施工组织设计方案</b> .....	133
<b>第 13 章 工程监理与环境监测</b> .....	136
13.1 工程监理 .....	136
13.1.1 疏浚监理 .....	137
13.1.2 堆场监理 .....	138
13.2 环境监测 .....	139
13.2.1 设计阶段的环境监测 .....	139
13.2.2 施工期间的环境监测 .....	141
13.2.3 施工结束后的环境监测 .....	142
13.3 污泥堆场环保监测 .....	143
<b>第 14 章 工程效益评估</b> .....	145
14.1 环境效益 .....	145
14.1.1 污染物去除量 .....	145
14.1.2 对水质改善或水华控制的作用 .....	145
14.1.3 对环境其他功能的效益 .....	146
14.2 社会效益 .....	147
14.2.1 改善生态质量,增强城市形象 .....	147
14.2.2 防洪减灾 .....	147
14.2.3 改善农业生态效益 .....	147
14.2.4 确保饮用水安全,维护社会稳定 .....	147
14.3 经济效益 .....	147
14.3.1 旅游业 .....	147
14.3.2 其他产业 .....	148
14.3.3 环境产品、环境技术服务 .....	148
参考文献 .....	148
<b>第 15 章 环保疏浚成本</b> .....	149
15.1 环保疏浚成本特点 .....	149
15.2 环保疏浚特有成本 .....	149
15.2.1 专利费用 .....	149
15.2.2 环保措施费 .....	149
15.2.3 余水处理工程费 .....	150
15.2.4 应急措施费用 .....	150
15.3 国民经济评价中的环保疏浚工程的不确定性分析 .....	150
15.3.1 不确定性产生的原因 .....	150
15.3.2 不确定性分析的内容和方法 .....	150

15.3.3	敏感性分析 .....	151
<b>第 16 章</b>	<b>工程招投标中的注意事项 .....</b>	<b>152</b>
16.1	招标文件内容特点 .....	152
16.1.1	考核内容 .....	152
16.1.2	验收标准 .....	152
16.1.3	计量方式 .....	152
16.1.4	设备要求 .....	152
16.1.5	工程量清单的编制要求 .....	153
16.2	投标文件内容特点 .....	153
16.3	评标方法 .....	153
16.3.1	经评审的最低投标价法 .....	153
16.3.2	综合评估法 .....	154
16.3.3	其他评标方法 .....	155
<b>附录 A 工程案例</b>		
<b>A1</b>	<b>滇池底泥环保疏浚工程 .....</b>	<b>159</b>
A1.1	主要技术指标 .....	159
A1.2	工程技术特点 .....	159
A1.3	工程实施效果 .....	160
A1.4	相关图片 .....	160
<b>A2</b>	<b>巢湖底泥环保疏浚工程 .....</b>	<b>165</b>
A2.1	主要技术指标 .....	165
A2.2	工程实施效果 .....	166
<b>A3</b>	<b>霞浦湖底泥环保疏浚工程 .....</b>	<b>169</b>
A3.1	工程实施背景 .....	169
A3.2	湖水水质 .....	170
A3.3	蓝藻的发生 .....	170
A3.4	底泥疏浚 .....	170
A3.4.1	疏浚区域和疏浚底泥数量 .....	170
A3.4.2	疏浚深度和去除效率 .....	171
A3.4.3	底泥疏浚船 .....	172
A3.4.4	中继输泥船 .....	173
A3.4.5	底泥处理地 .....	174
<b>A4</b>	<b>荷兰 Ketelmeer 湖底泥环保疏浚工程 .....</b>	<b>177</b>
A4.1	疏浚工程实施的背景 .....	177
A4.2	疏浚工程概况 .....	178

---

A4.3	疏浚底泥的处置 .....	178
<b>A5</b>	<b>英国泉湖公园环保清淤工程 .....</b>	<b>180</b>
<b>A6</b>	<b>佛罗里达州 South Longboat Key 地区疏浚工程 .....</b>	<b>183</b>
<b>A7</b>	<b>武钢北湖污水港环保清淤工程 .....</b>	<b>185</b>
<b>A8</b>	<b>滇池福保湾沿岸基底修复示范工程 .....</b>	<b>187</b>
A8.1	示范工程位置与规模 .....	187
A8.2	技术路线及主要工程内容 .....	187
A8.3	清洁底泥疏挖及吹填工程设计 .....	189
A8.3.1	工艺流程 .....	190
A8.3.2	疏挖工程量的计算 .....	190
A8.3.3	疏挖设备的选择 .....	191
A8.3.4	疏挖设计参数 .....	191
A8.3.5	排泥管线布设与泄口水口设置 .....	192
A8.3.6	疏挖吹填工期的确定 .....	192
<b>A9</b>	<b>洱海底泥环保疏浚工程 .....</b>	<b>193</b>
A9.1	工程位置与规模 .....	193
A9.2	主要工程内容 .....	193
A9.3	主要技术指标 .....	194
A9.4	工程技术特点 .....	195
A9.5	工程实施效果 .....	195
A9.5.1	环境效益 .....	195
A9.5.2	社会效益 .....	196

# 第 1 章 环保疏浚的理念与工程效益

在国内,人们对于环保疏浚的认识还很有限,尤其是对环保疏浚在湖泊与河流水污染治理中能发挥什么作用、如何发挥作用、在什么情形下发挥作用等这些问题认识还不十分清楚。本章立足于湖泊与河流水污染治理和生态修复,阐述环保疏浚技术的定位、应用、工程效果与理念。

## 1.1 环保疏浚理念

### 1.1.1 环保疏浚的定位——湖泊河流水污染治理工程技术

环保疏浚技术作为湖泊河流水污染综合治理技术体系的重要组成部分(图 1-1),是环境工程技术之一,是底泥污染控制的一项十分有效的措施<sup>[1]</sup>。在日本、美国与

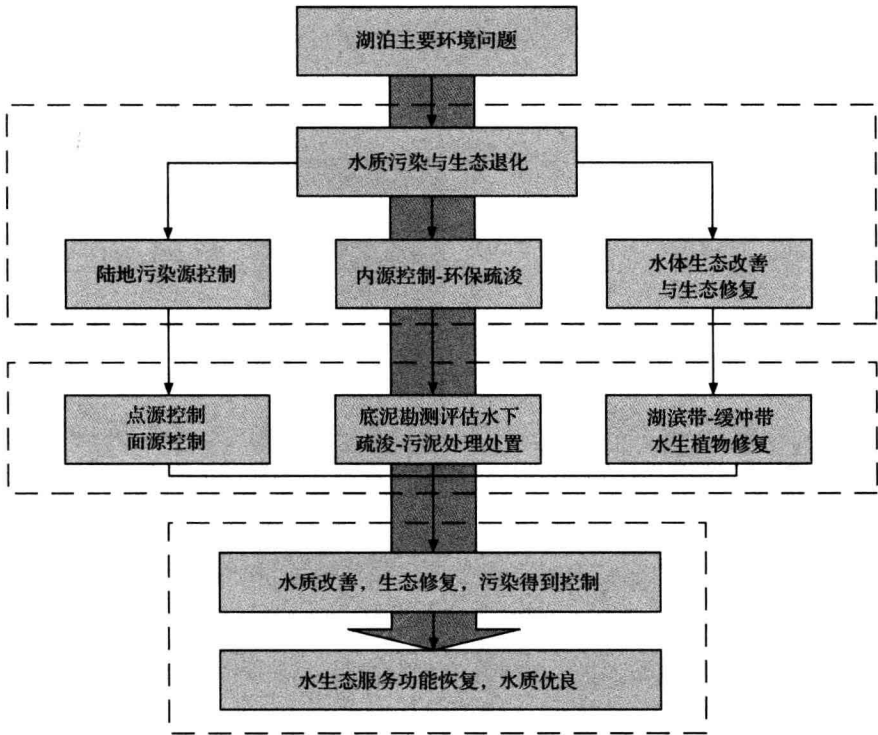


图 1-1 湖泊河流水污染治理工程技术体系图

欧洲等诸多国家的湖泊、港口与河流污染治理中是常采用的技术<sup>[2]</sup>,近十多年来在我国太湖、滇池、巢湖、洱海也进行了一定的工程实践,正逐步成为我国湖泊河流水污染治理的重要技术手段。应将环保疏浚技术与湖泊河流水污染综合治理的其他技术综合考虑,统一设计,形成一体,将其孤立地进行讨论是不适时宜的<sup>[3]</sup>。

### 1.1.2 环保疏浚的对象——湖泊河流水体污染底泥沉积区

环保疏浚技术与其他技术一样,有其适合的工程对象与实施条件,它主要适用于湖泊河流水体底泥污染严重的水域,如污染河流入湖口、城市污水排放下游水体、矿山废渣排放区、人工水产养殖区以及其他原因引起的湖泊河流水体底泥污染区等(图 1-2)。底泥尚未遭到污染的水体一般无需采取疏浚工程措施。同时值得注意的是,即使湖泊河流底泥受到污染,也未必一定需要进行环保疏浚这类工程措施,这主要取决于底泥的污染类型、程度与特征。

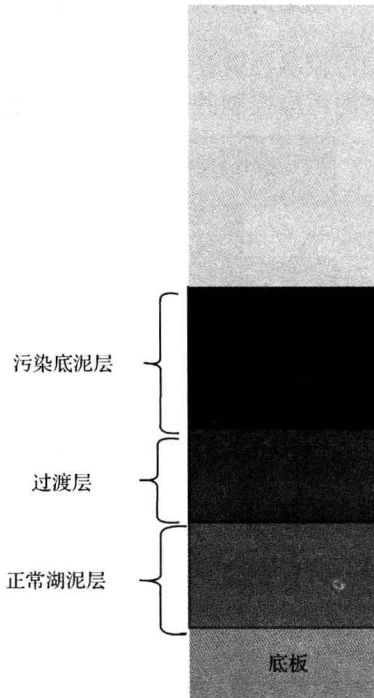


图 1-2 水体污染底泥沉积区示意图

通常,需要采取环保疏浚工程措施的水域满足以下条件:

- (1) 污染底泥沉积厚度较大,污染物含量较高;
- (2) 水-底泥界面处于缺氧或嫌氧状态;
- (3) 水生生物以缺氧或嫌氧条件下存活的种类为主;



- (4) 重金属或有毒有机物污染严重的沉积区底泥;
- (5) 其他特殊环保要求。

### 1.1.3 环保疏浚的理念——以湖泊河流水污染防治理念为指导

环保疏浚技术作为湖泊河流水污染综合防治技术体系中的重要组成部分,在采取湖泊河流环保疏浚措施时,无论在方案规划、工程设计,还是在施工中,均应遵循河流、湖泊水污染防治理念,即:从流域高度出发,将控制外源、生态修复与生境改善(包括环保疏浚在内)及流域管理相结合,综合开展水污染防治<sup>[4]</sup>。环保疏浚方案应当优化、综合于其中。在方案设计中应当重视方案的二次污染防治与生态理念的设计,强调环保疏浚与其他工程措施的结合,如湖滨带生态修复工程、沉水植物恢复工程、周丛生物恢复工程以及生态堤岸建设工程等。

## 1.2 环保疏浚的工程效益

### 1.2.1 环保疏浚目的

环保疏浚措施是湖泊河流水污染治理的重要举措之一,也是国际上研究最早并被广泛应用的技术,其目的是与其他湖泊河流治理措施一起对污染水体进行综合治理,有效清除河流、湖泊(水库)水体污染底泥中累积的各种污染物,并对疏浚的污泥进行安全处置,为污染河流、湖泊(水库)水质改善与生态修复发挥工程作用<sup>[5,6]</sup>。

### 1.2.2 工程效益

环保疏浚工程的效益主要集中在:清除湖泊河流污染底泥,改善湖泊河流底质环境,清除水-底泥界面聚集的藻种,修复水生植物的立地条件,改善工程区水质并控制水华发生。

#### 1. 有效去除湖泊河流水体内源污染负荷

湖泊河流内污染源(内源)是指入湖河流及湖泊本身携带的水体养殖、旅游、船舶、水生植物残骸以及大气干湿沉降等方式输入或排放的污染物,这些污染物与泥沙结合在一起形成污染底泥,通常称为“河流、湖泊(水库)内源”<sup>[3]</sup>。

根据近年的调查,我国主要湖泊底泥污染日趋严重,如滇池外海底泥普遍处于高氮、高磷和高含水率状态,其中,TN 超过 2500 mg/kg,TP 超过 500 mg/kg,且为全湖性底泥高污染<sup>[7]</sup>。随着我国湖泊管理日益加强,养殖、旅游、机动船舶等外源污染逐渐得到控制,而底泥作为污染物的重要蓄积库,已成为湖泊水体中重要的