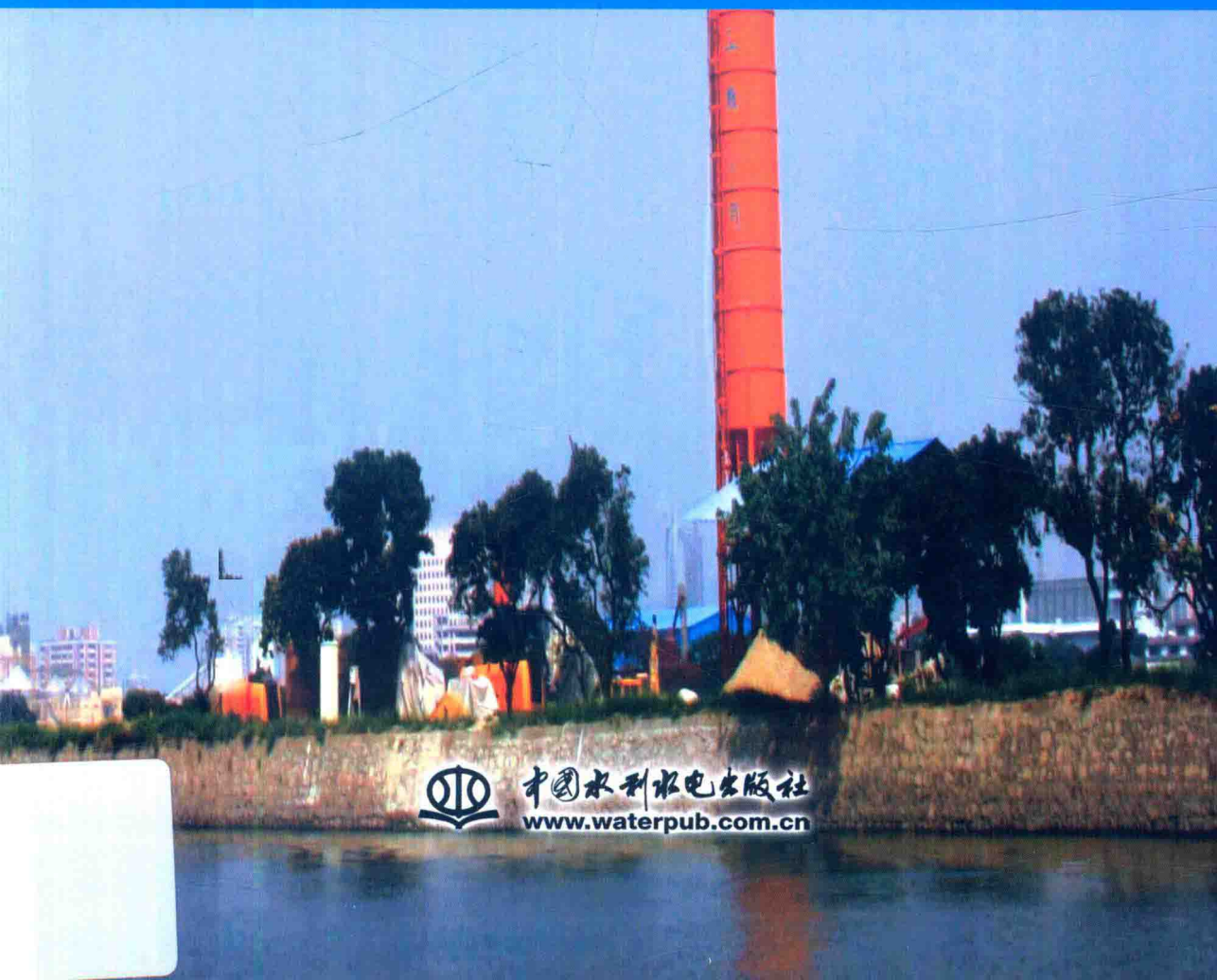


河湖污染底泥处理技术

赖佑贤 闫晓满 主编



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

河湖污染底泥处理技术

赖佑贤 闫晓满 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书主要内容是广州市水电建设工程有限公司近年来在河湖泥水环境治理领域尤其是污染淤泥处理处置方面的相关研究成果和工程施工经验总结,旨在为我国江河湖泊污染淤泥的合理有效处置提供理论、方法和技术参考。

全书共分12章,第1章概述,主要介绍河湖淤泥现状、治理现状与原则等,第2~4章主要介绍河湖淤泥成因、特性分析、疏浚方法、处理处置要求以及国内外淤泥处理处置方法概述,第5章河湖淤泥理化处理关键问题研究,第6~8章主要介绍了河湖淤泥脱水处置技术、固化处理技术以及河湖淤泥资源化利用技术,第9章对河湖淤泥处置进行了简单的技术经济分析,第10章主要介绍了河湖淤泥处置工程的三个典型案例,第11章河湖淤泥处置技术经济分析,第12章河湖受污染底泥处置工程案例等。

本书不仅介绍了淤泥的成因、性质和处理技术原理理论,也介绍了具体的淤泥处理工艺技术,本书出版发行对我国现阶段河湖泥水环境综合治理以及水生态文明建设具有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

河湖污染底泥处理技术 / 赖佑贤, 闫晓满主编. --
北京: 中国水利水电出版社, 2017.3
ISBN 978-7-5170-5269-2

I. ①河… II. ①赖… ②闫… III. ①河流底泥—污染防治—研究②湖泥—污染防治—研究 IV. ①X53

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第064264号

书 名	河湖污染底泥处理技术 HEHU WURAN DINI CHULI JISHU
作 者	赖佑贤 闫晓满 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 10.5印张 249千字
版 次	2017年3月第1版 2017年3月第1次印刷
定 价	30.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《河湖污染底泥处理技术》

编 著 人 员

主 编：赖佑贤 闫晓满

副 主 编：陈永喜 杜河清

参编人员：赵志杰 黄锦城 陈 健 肖孟富 何 贇

李东文 陈 英 张 程

前言

河流湖泊在城市生活、生产、环境景观和气候调节与改善中起了重要作用。然而，随着社会经济的发展，城市化进程的加快，大量工业废水和生活污水的直接排入，城市河道出现了黑臭、富营养化、生物多样性锐减、生态系统单调等一系列问题，同时，河湖水体污染还威胁到城市供水安全。

大量污染物进入水体后，最终会沉积到淤泥中并逐渐富集，使淤泥受到更加严重的污染。当外污染源得到控制以后，河湖水体环境发生变化时，沉积在淤泥中的氮磷营养元素、重金属和难降解的有机物会重新释放出来进入水体，形成二次污染。同时河道淤积加重，也降低了河道的蓄洪、行洪能力，遭遇暴雨时常常发生“水浸街”的现象，严重威胁到居民的生命财产安全和城市防洪安全。

河湖淤泥的清淤，不仅满足了环保的需求，还满足了行洪排涝的需求。城市黑臭河道整治的治理理念为外源截污、内源清淤、清水补源、生态修复。同时，海绵城市治理中也指出：在城市开发建设过程中采取源头削减、中途转输、末端调蓄等多种手段，通过渗、滞、蓄、净、用、排等多种技术手段，实现城市良性河湖循环，提高对径流雨水的渗透、调蓄、净化、利用和排放能力，维持或恢复城市的海绵功能。

海绵城市治理理念及黑臭河道整治的要求，对河湖淤泥的清淤与处置提出了明确的方向。河湖淤泥清淤是江河、湖泊水环境改善与治理的前提，也是生态环境修复和重建的必要条件。河湖淤泥清淤的底泥又是具有利用价值的潜在资源，无害化资源化处置是其关键环节。深入研究并提出有创新性的高效处理淤泥技术，对淤泥实施减量化、稳定化、无害化处理以及淤泥资源化处置具有重要意义，可以解决我国受污染江河湖库淤积严重、淤泥物污染严重的问题，也可以解决诸如珠三角地区大量产生废弃淤泥的处理问题和淤泥的海洋抛泥造成的环境污染问题，同时可以解决部分工程建设用土的问题。

为切实加大水污染防治力度，保障国家水安全，2015年国务院制定并发布了《水污染防治行动计划》（简称“水十条”）。河湖污染底泥严重影响着城市江河湖泊的水环境、水生态安全；本书顺应“水十条”的要求，并结合我们在产学研过程中的技术成果和工程实际案例，探讨了河湖污染底泥的处理

处置技术，以解决河湖底泥的积蓄与严重污染问题，也为河湖污染底泥的处理提供理论基础、施工工艺、设备系统和经济分析依据。

本书主要基于广州市亚运会的治水工程，2010年为给广州市亚运会创建一个“碧水蓝天”的良好环境，广州市举全市之力整治河湖。该工程共持续了5年，于2015年圆满完成，成功解决了河湖治理中清理出的淤泥（约500万 m^3 ）的处理处置问题。工程遵照淤泥“集约化清淤、无害化处理、资源化利用”的处置原则，取得良好的社会效益、经济效益与环境效益。本书梳理了本工程中积累的丰富工程经验，并在处理处置理念方面给予总结提升。

全书共分12章，从河湖污染底泥的现状调查分析开始到河湖污染底泥处理技术的工程应用案例分析结束，本书不仅介绍了淤泥的成因、性质和处理技术原理理论，也介绍了具体的淤泥处理工艺技术，既可以作为工程技术人员的参考用书，也可以作为一般人员的科普读物学习。

编者

2017年3月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 河湖污染淤泥现状	1
1.1.1 河湖淤积污染现状	1
1.1.2 河湖污染淤泥特性	2
1.1.3 河湖淤积对社会经济的影响	3
1.1.4 河湖受污淤泥对水生生态环境的影响	3
1.1.5 河湖受污淤泥对人居生活的影响	4
1.2 河湖污染淤泥治理现状与治理原则	4
1.2.1 河湖污染淤泥治理现状	4
1.2.2 河湖污染淤泥治理原则	5
1.3 河湖受污染底泥治理过程中存在的问题	5
1.3.1 淤泥清出方式方法问题	5
1.3.2 清出淤泥增量问题	6
1.3.3 清出泥浆处理问题	6
1.3.4 清出泥浆处置问题	7
1.3.5 淤泥资源化利用问题	7
1.3.6 经济发达地区治淤的局限性	8
1.4 河湖污染底泥处理技术研究的必要性和意义	8
1.4.1 必要性	8
1.4.2 意义	9
第 2 章 国内外河湖污染底泥处理技术研究及应用现状	11
2.1 国内外现有的淤泥脱水方法	11
2.1.1 自然脱水干燥法	11
2.1.2 真空预压脱水法	11
2.1.3 土工管袋法	12
2.1.4 机械脱水法	12
2.2 淤泥固化研究	13
2.2.1 国内外关于淤泥固化剂的研制	15
2.2.2 国内外关于淤泥固化工艺的研究	15
2.2.3 国内外关于淤泥固化技术的应用实例	16

2.3 国内外现有的淤泥处理处置技术分析·····	17
第3章 河湖污染淤泥成因及其特性分析 ·····	19
3.1 河湖淤泥成因·····	19
3.1.1 河湖自然淤泥·····	19
3.1.2 河湖人工淤泥·····	19
3.2 河湖淤泥组成·····	19
3.2.1 河湖淤泥粒配·····	19
3.2.2 河湖淤泥成分·····	20
3.3 河湖淤泥中水分构成及其特性·····	22
3.4 淤泥浆体减量特性·····	23
3.5 淤泥的絮凝特性·····	24
3.6 淤泥的工程特性·····	24
3.6.1 淤泥自然特性·····	24
3.6.2 河湖受污淤泥特性变化·····	27
第4章 河湖淤泥的疏浚及处理处置要求 ·····	29
4.1 河湖淤泥的疏浚方法与分析·····	29
4.1.1 抓斗、链斗挖泥船清淤·····	29
4.1.2 绞吸、耙吸、喷吸挖泥船清淤·····	29
4.1.3 水力冲挖机组清淤·····	29
4.2 河湖淤泥的环保疏浚·····	29
4.3 河湖淤泥的处理与处置要求·····	30
第5章 河湖淤泥理化处理关键问题研究 ·····	31
5.1 淤泥调质固化机理分析方法·····	31
5.2 淤泥调质固化机理分析·····	33
5.3 淤泥固化调质材料·····	34
5.3.1 调质材料及其成分·····	34
5.3.2 固化基材与调质材料的理化作用·····	35
5.4 淤泥调理脱水试验研究·····	39
5.4.1 试验测定方法·····	39
5.4.2 试样及试验设备·····	40
5.4.3 淤泥调理脱水效应试验及分析·····	41
5.4.4 水泥、生石灰、粉煤灰淤泥比阻对比分析·····	44
5.4.5 淤泥调理重力浓缩效应试验及分析·····	45
5.5 淤泥复合固化试验研究·····	46
5.5.1 试验方案·····	47
5.5.2 试验结果与分析·····	47

第 6 章 河湖受重金属污染底泥的评价分析及影响	57
6.1 底泥重金属的评价分析方法	57
6.1.1 地累积指数 Igeo (Index of Geoaccumulation) 法	57
6.1.2 底泥富集系数 SEF (Sediment Enrichment Factor) 法	58
6.1.3 次生相富集系数 PEF (Phase Enrichment Factor) 法	58
6.1.4 潜在生态危害指数法 RI	58
6.1.5 次生相与原生相分布比值法 RSP	59
6.1.6 水体底泥重金属质量基准法 SQC	59
6.1.7 脸谱图法	60
6.1.8 回归过量分析法 REA	60
6.1.9 间隙水和上覆水法	60
6.1.10 多因子综合评价方法 (内梅罗污染指数法)	61
6.2 底泥重金属的迁移转化	61
6.2.1 底泥重金属的存在形态	61
6.2.2 重金属迁移转化	62
6.2.3 重金属迁移转化的基本方程	65
6.2.4 紊流扩散的基本方程	65
6.2.5 重金属随水—悬浮物—底泥迁移转化耦合模型	66
6.2.6 重金属迁移转化的影响因素	68
6.3 底泥重金属污染的生态效应	69
6.3.1 对水生植物的影响	69
6.3.2 对水生动物的影响	70
6.3.3 对人体健康的危害	70
第 7 章 受重金属污染的河湖底泥的稳定——固化机理	71
7.1 磷酸盐稳定——固结机理	71
7.1.1 磷酸盐修复重金属污染	71
7.1.2 稳定重金属的机理	71
7.2 GBR 固化剂以及其他固化材料的稳定固化机理	73
第 8 章 河湖淤泥脱水处置技术	76
8.1 淤泥脱水机理研究	76
8.1.1 物理絮凝的作用机理	77
8.1.2 淤泥化学絮凝的作用机理	79
8.1.3 絮凝解析模型	79
8.1.4 絮体沉降规律	81
8.1.5 影响淤泥调理脱水的几个重要因素	83
8.2 河湖淤泥板框压滤机脱水处理技术	84
8.2.1 工艺流程	84

8.2.2	工艺特点	85
8.2.3	板框脱水固化工艺设计	87
8.2.4	主要构筑物	88
8.3	河湖淤泥带式污泥脱水机脱水处理技术	90
8.3.1	工艺流程	91
8.3.2	淤泥机械脱水主要设备简介	91
8.3.3	植毛带式底泥脱水机的核心技术	94
8.3.4	本方案与国内现行方案对比	96
8.3.5	脱水船方案	97
8.3.6	河道疏浚方案比选	103
8.3.7	工艺特点	104
第9章	河湖淤泥固化处理技术	105
9.1	管道搅拌脱水固化一体化技术工艺	105
9.1.1	工艺技术路线	105
9.1.2	工艺技术流程介绍	107
9.2	管道搅拌固化的工艺技术特点	108
9.3	河道淤泥处置目标	108
9.4	管道搅拌固化技术设备系统	109
第10章	河湖淤泥资源化利用技术	112
10.1	底泥资源化工艺技术	112
10.2	综合利用	112
10.3	填埋	114
10.4	底泥处置方案的优缺点	115
第11章	河湖淤泥处置技术经济分析	116
11.1	经济效益评估	116
11.1.1	评估指标与方法选择	116
11.1.2	经济效益	116
11.2	生态环境效益评估	117
11.2.1	评估指标与方法选择	117
11.2.2	直接效益评估	117
11.2.3	间接效益评估	117
11.3	社会效益评估	118
11.3.1	评估指标与方法选择	118
11.3.2	生命支持效益	118
11.3.3	发展支持效益	119
11.3.4	社会总效益	119
11.4	河湖淤泥无害化,资源化的总效益	119

第 12 章 河湖受污染底泥处置工程案例分析 120

12.1 案例 1：峨眉沙岛、大蚝沙岛淤泥处置及生态旅游项目 120

12.1.1 工程概况 120

12.1.2 淤泥处置流程 120

12.1.3 淤泥处置标准 122

12.1.4 淤泥处置工艺 124

12.1.5 处理后淤泥成分分析 130

12.1.6 处理后淤泥实测性能 132

12.1.7 处理后淤泥浸出试验分析 133

12.2 案例 2：常德市穿紫河综合整治工程 141

12.2.1 工程建设的必要性 141

12.2.2 穿紫河综合整治工程概况 142

12.2.3 淤泥处理工艺 143

12.3 案例 3：亚行贷款黄石水污染综合治理项目磁湖清淤二期（LR-C01-2）

 土建工程 143

12.3.1 工程背景 143

12.3.2 工程内容 144

12.3.3 施工工艺 144

12.3.4 淤泥脱水固结处理方案 144

12.3.5 淤泥脱水固化质量检验 145

12.3.6 淤泥脱水固化尾水质量检验 147

结语 149

参考文献 150

第 1 章 概 述

河湖水环境作为社会、经济系统存在和发展的基本因素，水环境的承载能力对本地经济建设的发展起着重要作用。由于历史的累积和近期经济建设高速发展等原因，我国的河湖水环境问题日益严峻，从而使城市的持续发展越来越受到严重阻碍，人居环境越来越受到严重威胁。

1.1 河湖污染淤泥现状

1.1.1 河湖淤积污染现状

我国陆地水域总面积约 2667 万 hm^2 ，其中江河为 1200 万 hm^2 ，湖泊 800 万 hm^2 ，人工塘库 667 万 hm^2 。全国大小河流总长达 43 万 km ，流域面积在 100km^2 以上的河流有 50000 多条，流域面积在 1000km^2 以上的河流约 1580 条，超过 10000km^2 的大江河有 79 条，长度在 1000km 以上的河流有 20 多条；最近研究统计表明，我国大于 10km^2 的天然湖泊已经从《中国湖泊志》统计的 656 个减少到目前的 581 个，总面积从 85256.94km^2 缩小到目前的 68671.58km^2 。

随着经济建设的飞速发展，人类活动迁移频繁，城市化进程加快，污水排放量大幅增加，而污水的处理相对滞后，大量污水直接排放河湖，再加上雨污不分流导致河湖严重淤积和污染。根据 2016 年《中国环境状况公报》的数据，我国七大水系、主要湖泊、近岸海域及部分地区的地下水受到的污染程度逐年增加，这使我国的江河湖泊不堪重负。大量污染底泥形成了新的污染源，降低了河湖水体的自净能力，继而引起河湖水环境的进一步恶化。湖泊与人类生活息息相关，特别是在东部人口稠密地区，湖泊所受的污染越来越严重，严重地影响了河湖周边人居环境和降低了人民生活质量，制约了区域经济的建设和发展。

我国七大流域中的河流由于动力条件较好，泥沙输移能力较强，加上局部河道的疏浚，内河河道淤积总体上看能够满足物质输移需求，淤积较为严重的主要出现在河道型水库和三角洲河段，诸如长江三角洲、黄河三角洲和珠江三角洲，且受到海平面和海洋气候的影响，动力条件改变，淤积加剧，淤积物受污严重。随着经济建设的飞速发展，人类活动迁移频繁，城市化进程加快，污水排放量大幅增加，大量污水直接排放湖泊，再加降雨地表产流、产沙和产污导致河湖严重淤积和污染。根据 2016 年《中国环境状况公报》的数据，我国主要湖泊、近岸海域的污染程度逐年增加，不堪重负，大量污染底泥形成了新的污染源，降低了河湖水体的自净能力，继而引起河湖水环境的进一步恶化。目前，我国江河、湖泊生态环境及其受污状况普遍存在着七大问题：泥沙淤积、水面退缩、富营养



图 1-1 河湖淤泥及其污染状况

化、沼泽化、盐化、酸化和由此引起的生态环境恶化以及资源退缩。其中泥沙淤积、水面退缩、沼泽化属于水利生态的范畴，而盐化（重金属化）、富营养化和酸化则为生态环境内容。

受污泥淤积使河湖水质严重恶化，其中重要原因是由于河湖中过度污染的淤泥把有毒物质溶入水体。因此，疏浚河湖受污淤泥是净化河湖水质、恢复河湖生态的重要前提。见图 1-1。

1.1.2 河湖污染淤泥特性

河湖自然淤泥主要是多年沉积所致，并在污染物长期作用下发生不同程度的灾变。原始的河流淤泥按其来源可分为两大类：一类是从流域地表冲蚀而来的，另一类是从河床上冲起的，在运动过程中，二者存在着置换作用。随着社会经济建设的发展，河流淤泥的成分也逐渐改变，淤泥从流域地表冲蚀而来时所含有的污染物随城市区位、污染源种类的不同而种类各异，包括：有机无毒物如酸、碱、一般无机盐、氮、磷等植物营养物，还存在着大量的碳水化合物、脂肪、蛋白质等。有机有毒物主要有苯酚、多环芬烃、PCB、有机氯农药、石油产品等。无机有毒物有重金属、砷、氰化物、氟化物等。其中，有机物和富营养化物质（氮、磷化学物）主要来自于居民生活污水、禽畜养殖废水，石油产品主要来自炼油厂、加油站废水等，重金属主要来自电镀厂、冶炼厂等，有机有毒物主要来自生活污水、化工厂和制药厂等。

天然湖泊淤泥含泥量多，含水率变化大，一般在 45%~90%，颗粒分布极其不均，



平均粒径极细。淤泥成分极其复杂,无机物含量较高,二氧化硅含量小于60%,三氧化二铝15%左右,三氧化二铁8%左右,氧化钙和氧化镁不足1%;有机质含量5%~18%。但随着湖泊周围居住人口密度增大,且各种生活、工业生产排放物进入湖泊,湖泊淤泥的成分发生了较大变化,主要表现在有机污染物大量沉积和各种微生物的加速繁殖,以及多种有毒物质扩散和增长。湖泊淤泥成分已经开始趋同于污水处理厂污泥成分,且受人为因素影响越来越大。相对河流淤泥而言,湖泊淤泥含有更高的有机物,氮、磷、钾、微量元素和各种微生物,且具有更高的污染性^[4]。

河湖污染底泥是天然含水量大于液限,天然空隙比大于等于1.5的黏性土,是一种由有机残片、细菌菌体、无机颗粒、胶体等组成的极其复杂的非匀质体,包括混入生活污水或工矿废水中的泥沙、纤维、动植物残体等固体颗粒及其凝固絮状各种胶体、有机质及吸附的金属元素、微生物、病菌虫卵等物质的综合固体物质^{[5][6]}。

淤泥在含水率较高的状态下,与水流具有极好的跟随性和亲和性,运动状态下,其速度接近水流。随着含水率的降低,淤泥显示出半塑性或塑性流体的特性。淤泥清出绝大多数采用机械疏浚、水力吹填和挖掘机清出,所形成的疏浚淤泥的工程特性各异。就机械疏浚而言,疏浚浆体黏粒含量高、含水率高、压缩性大、强度低、渗透性能差、排水固结缓慢。由于疏浚淤泥的黏粒极细且含量高,黏滞性较大,比表面积大,往往带有负电荷,会吸附带极性的水分子和水合阳离子,形成一定厚度的吸附水层,难以脱出。而水力吹填和挖掘机清出的淤泥,情况大不相同,含水率接近自然淤积淤泥,杂质多,颗粒分布广,小到微米级淤泥,大到块石,流动性极差。

除了上述工程特性以外,疏浚淤泥往往含带不同程度的有机质和重金属,这些污染物往往吸附在细小的黏粒表面,分离和清除都非常困难。

1.1.3 河湖淤积对社会经济的影响

河湖淤泥是泥水环境的重要组成部分。泥水环境条件对区域的经济发展和生活需求的支持能力起着至关重要的作用。尤其是在城市发展进程中,城市经济发展活动与该城市泥水环境条件适配程度是其经济系统是否处于良性运作的重要指标。

泥水环境作为社会、经济系统存在和发展的基本因素,泥水环境的承载能力对本地经济建设的发展起着重要作用。由于历史和经济建设高速发展等原因,我国的泥水环境问题日益严峻。特别是经济建设较为集中的城市如东莞、深圳、广州、上海等,经济发展正面临着一系列环境问题。据统计,我国90%以上的城市泥水环境恶化趋势严峻,其中因产能规模过大、产业结构不合理、生产布局不适当、环境保护措施不得力等引起的泥水环境问题日显突出,如城市河湖的严重淤积、水资源短缺、水污染过重、水生态平衡遭到破坏等。从而使城市的持续发展越来越受到严重阻碍,人居环境越来越受到严重威胁。

1.1.4 河湖受污淤泥对水生生态环境的影响

河湖污染底泥的共同特点是含水量高,其含水率是随淤泥所处位置和淤积时间而异(一般在45%~95%范围),体积庞大,不易处理。淤泥不仅含水率高而且成分复杂,内含病毒病原菌、寄生虫(卵)、重金属及其某些难降解的有机毒物,有较强的污染性。由



于淤泥中存在各种各样的污染物,并与水流动力强度和水流流态有着紧密关联,作为江河湖泊内污染源,首先直接污染水体,减低水体质量;其次改观水流生态环境,恶化江河湖泊水生动植物发育环境;最后对水生生态构成威胁,影响水生生态的衍生、栖息,降低水生生命体的生态系统,减少水生生态种群,降低水体自组织修复能力。因此,对清除淤泥处置不当,极可能广泛扩散污染^[7],对动物、人类以及环境造成较大的危害^[8]。

1.1.5 河湖受污淤泥对人居生活的影响

河湖淤泥污染问题对社会经济和生态环境造成重大影响的同时,对人居生活同样造成了很大的胁迫和压力。由于河湖淤积日积月累,淤积加重,极大地降低蓄洪、行洪能力,遭遇暴雨时常常发生“水浸街”的灾害,扰乱人们的正常生活,威胁居民的生命财产安全;淤泥使河湖水质逐日恶化,降低水环境容量,臭气难闻且旷日持久;有毒的污染物致使水生动植物的逐渐消亡,影响水生态系统,急剧降低了水生生物的多样性,威胁生态环境安全;淤泥中含有的石油类污染物、汞、铅、砷等有毒重金属直接或间接地危害滨水城市居民的人体健康;另外,淤泥的存在与城市优美的景观环境形成了巨大的反差,与现代化的建筑和美丽的绿化格格不入。比如广州市越秀区珠江宾馆边的沙河涌,一边是以珠江宾馆为代表的高耸入云的鳞次栉比的楼群,一派现代国际化大都市形象;一边是黑色淤泥裸露、黑色的河水充斥沙河涌,散发出的臭气使周边居民不堪忍受^[9]。

1.2 河湖污染淤泥治理现状与治理原则

1.2.1 河湖污染淤泥治理现状

目前全国各大中城市的城中河湖(包括滨海)由于长时期的沉积受污淤泥,致使这些淤泥成了河湖水质的污染源,因此都面临着需要清淤疏浚的紧迫压力。上至地方政府、下至民众无不为之关心。其中尤其以昆明滇池、武汉东湖、江苏太湖以及珠江三角洲地区等更为突出。

珠江三角洲地区是中国发展最快的地区之一,随着工农业的迅猛发展,大量工农业废水通过多种途径进入河道水体。受潮汐作用水动力不足,污染物最终进入水体底泥中,并逐步累积。重金属及其他有害物质,在进入水环境或水生态系统后就会存留、积累和迁移,并最终危害水环境;河道的水质恶化对供水水源地水质、水环境、水生态产生了许多不利影响,重金属污染已经威胁到城乡居民健康及饮水安全;而受重金属污染底泥资源处置的技术推广却相对滞后。合理处理处置淤泥已经成为关系到我国社会、经济、环境和民生的大问题。但是,直到目前,疏浚河湖产生的大量淤泥还没有一个有效的处理处置技术和工艺。因而,如何对淤泥进行有效的无害化、资源化处理处置,已经受到行业内普遍关注。

国家相关部门和业内人士都急切地希望,通过对国内具有代表性的江湖淤泥进行分析,结合国内外各种处理技术,提炼出一种针对不同淤泥均能实现无害化处置和资源化利用的集成技术,以期达到以下目标:①实现河湖疏浚淤泥的资源化利用;②找到一个高



效、简约、实用、可靠的能对河湖淤泥进行减量化、稳定化、无害化和资源化处理的方法：一是对底泥深度脱水；二是对重金属固结固封；三是做到排放物达标排放；四是对无害化处理后的底泥达到资源化利用要求；③为国家和社会处理处置河湖淤泥工程提供科学决策与技术支持。

1.2.2 河湖污染淤泥治理原则

河湖淤泥一般经过处理和处置两大阶段，通常把淤泥的稳定和脱水（一般脱水至含水率达70%~80%）称作淤泥的处理，以期达到把淤泥中的有害物质降解或者消除到可能程度；将淤泥的堆肥、填埋、干化和加热处理及最终利用，称为淤泥的处置，依据淤泥处置的可能出处，把淤泥中的有机物或者无机物稳定到相当程度，进而把淤泥处置成工程可以利用的资源土。因此，淤泥技术处理处置在原则上必须实施减量化、稳定化、无害化，在此基础上依据技术潜能和技术的成熟度，实施淤泥资源化、产业化利用。

（1）减量化。由于淤泥含水率很高，致使其体积变大，因此需要将水从淤泥中分离并去除，进而减少淤泥最终处置前的体积，以降低淤泥处理及最终处置的费用。例如当淤泥含水率从95%降至85%，其体积缩减为原淤泥的1/3。

（2）稳定化。淤泥中含有大量的有机物及重金属元素，极易腐败和产生恶臭，需要经过处理将易腐败的部分有机物分解转化，使之不易腐败，大大降低恶臭并方便运输和最终处置，同时经过处理后重金属元素稀释钝化，由非稳定态向稳定态转化。

（3）无害化。河湖受污染淤泥中，含有大量有毒重金属、病原菌、寄生虫卵及病毒，可能造成传染病的传播，需要经过处理减少重金属的含量、杀灭病原菌、寄生虫卵及病毒，提高淤泥的卫生指标。

（4）资源化。我国地域广阔，河湖众多，淤泥产生量大。据有关部门调查统计，仅湖泊、河道淤泥而言，每年的清淤量可达7000万t。此外，还有大量的城市下水道淤泥和污水处理厂污泥。如何妥善处理处置如此大量的淤泥，化害为利，变废为宝，保护环境，实现淤泥的资源化利用，是摆在我们每一个水利工作者、水环境工作者面前的重要任务。

1.3 河湖受污染底泥治理过程中存在的问题

1.3.1 淤泥清出方式方法问题

淤泥清淤清出方式多样，我国较为常见的有环保清淤、挖掘清淤和泵吸清淤（图1-2）。环保清淤机械有搅吸、耙吸和喷吸三种，各种都具有各自的特点和应用范围及其适应、应用性。环保清淤清出淤泥具有较大的特点，所以适用于大型湖泊作业，但清出淤泥含水率极高。挖掘清淤清出淤泥由于机械运用灵活，挖掘能力较小，适用于河滨、湖滨淤泥清除，清除淤泥含水率较小，但杂质成分复杂。泵吸清淤清除方式较适用于中小型湖泊。

江河湖泊淤泥清除有带水作业和干水作业两种方法。带水作业法使用面积广，对大中



(a) 环保清淤



(b) 挖掘清淤



(c) 泵吸清淤

图 1-2 淤泥清淤方式

型湖泊淤泥清除尤为适用, 不受气候影响, 可连续作业, 但对清淤基准面的控制有待于提高。干水作业清除淤泥方法适用于小型江河湖泊, 需要修筑河道、湖泊围堰或者干塘, 代价较高, 季节性影响较大。

使用干水作业法清除淤泥修筑河道或者湖泊围堰代价较高, 清除淤泥时对江河岸或者湖泊岸的稳定性有不利影响。

使用带水作业法的施工质量不易控制, 可能挖深不够导致淤泥不能清除干净或者挖得过深破坏河床湖床。

1.3.2 清出淤泥增量问题

江河湖泊淤泥是泥沙长期沉淀的产物, 其自然水下含水率与泥沙颗粒、粒配和沉淀时长有着密切关系, 一般情况下其含水率在 45%~65% 之间。除干水暴晒作用外, 淤泥在机械搅头的干扰下吸出成为浆体, 其含水率少则增加 1~2 倍, 多则增加 5~7 倍。尤以环保清淤为甚, 清除泥浆含固率一般为 5%~15%, 含水率高达 80%~95%, 含水量急剧增加, 为后续淤泥处理带来难度。

使用干水作业法清出淤泥后淤泥的处理处置会产生一个增量问题。这是因为含水率 60%~70% 的淤泥其黏滞力大, 使得淤泥进一步脱水相当困难, 淤泥中的有毒有害成分难以剔除。因此, 要做到合理地处理处置淤泥, 还必须重新加水稀释挖出的淤泥以便达到理想的处理处置效果。

使用带水作业法疏浚淤泥过程本身就是一个把水掺入淤泥进行稀释的过程, 这个过程将水下含水率 60%~70% 的淤泥稀释为含水率 95% 或以上的泥浆后输送到处理处置设备中。这同样涉及清出淤泥的增量问题。

1.3.3 清出泥浆处理问题

不同清除方法清出含水率高达 60%~95% 的淤泥浆体, 不仅给运输和蓄存造成困难, 同时浆体有机物在水的作用下会发生腐变, 直接影响大气和地下水质量, 并扰民碍民, 因此必须科学处理和适度处置。泥浆的处理应遵循减量化、稳定化和无害化的原则。淤泥的含水率高, 不利于运输和处置, 淤泥体积随着含水率的降低迅速变小, 淤泥中的固体物有复杂的结构, 与水的亲和力很强, 需要采取多种方法改变淤泥的理化性质, 使固体凝聚力增强, 颗粒变大。但是存在减量化过程可逆的问题, 所以要进行稳定化处理。同时, 高度注重淤泥稳定性, 严防淤泥的二次泥化, 二次泥化易引发众多有害物质的二次转移和二次