

CHINA DREDGING

中国疏浚

热烈祝贺
长江航道局成立60周年

卷首语

充分发挥“中国疏浚”
在水环境生态治理与保护领域的主力军作用

特别策划

环保疏浚产业链延伸与流域水环境治理的思考

管理聚焦

大江展宏图 改革再出发

国际视野

代尔夫特砂子、黏土，岩石切削模型对切削
过程的分类

编印单位：中国疏浚协会

发送单位：各会员单位及相关联企业、院（所）

印刷单位：都市印工场（北京）印刷科技有限公司

印刷日期：2017年6月20日

印 数：1100册

京内资准字201700028号
内部资料，免费交流

疏浚创造生态
更多疏浚动态尽在“中国疏浚”



微信号：中国疏浚

欢迎关注留言和点赞

官网：www.chida.org

大江展宏图 改革再开放

——热烈祝贺长江航道局成立 60 周年

长江航道局组建于 1957 年，拥有港口与航道工程施工总承包特级、市政公用工程总承包一级施工资质，国家测绘局颁发的甲级测绘许可证及对外经营许可证，并通过了质量、环境、职业健康安全（Q/E/OHS）一体化管理体系认证。拥有各类船舶 600 多艘。其中，各种大型挖泥船 50 多艘；各类陆上施工机具 500 多台套。年陆上爆破能力 200 万方以上，年水下爆破能力 100 万方以上，年疏浚能力 15000 万方。

60 年来，长江航道局凭借着雄厚的技术实力、科学的管理和良好的信誉，致力于将长江干线航道建设成畅通、安全和智能化“黄金水道”。同时，在环渤海经济区大连、锦州、黄骅；北部沿海综合经济区的青岛、烟台；东部沿海综合经济区的上海长江口、南京以下深水航道；东南沿海综合经济区的厦门、珠江口、南沙、湛江和香港、澳门等地留下了奋斗者的足迹，承建了几十项国家和省市重点工程项目。其中，长江口深水航道治理一期疏浚工程获国家优质工程金质奖；长江三峡水利枢纽施工期变动回水区航道整治工程获国家优质工程银质奖；上海浦东机场外侧滩涂促淤圈围工程—3# 围区圈围工程获得中国水利工程协会颁发的“大禹奖”。长江航道局积极开展境外工程，先后承担了巴林、文莱、缅甸等国多项大型工程设计和施工任务。

长江航道局积极贯彻“守信誉、严管理、讲科学、创一流。以优质工程向业主提供满意服务”的质量方针，为广大业主提供一流的服务。今后，将继续秉承“质量第一、信誉第一”的宗旨，致力于打造世界一流疏浚水工业企业，并愿与海内外各界朋友精诚合作，共创美好未来。

长江航道局承建的广西贵港港中心港区苏湾作业区一期工程



长江航道局承建的青岛董家口港区航道工程



长江航道局承建的湄洲湾航道工程中艏吹施工



长江航道局长鲸 2 耙吸式挖泥船



长江航道局长鲸 6 耙吸式挖泥船

充分发挥“中国疏浚” 在水环境生态治理与保护领域的主力军作用

苏俊

水是人类生存、生活和生产不可缺少的宝贵资源。作为自然资源，它具有不可再生性；但进入自然界循环的排放水体，又具有可持续利用性。也正因此，从上世纪70年代开始，由水资源特性及问题催生的水环境生态治理与保护产业群逐渐进入人们的视野。

中国疏浚最早进入水环境生态治理与保护领域的记录是1953—1958年对杭州西湖的第一次疏浚清淤工程。伴随着经济快速发展，我国水环境问题逐渐凸显，为此国家自上个世纪90年代，开展了大规模的水环境生态治理与保护工作，在这一过程中，中国疏浚发挥的作用愈加显著。先后成功实施了昆明滇池、大理洱海、杭州西湖、无锡太湖、洞庭湖、武汉东湖（南湖、北湖）、常德穿紫河、深圳茅洲河以及中新天津生态城污水库等一系列治理工程，不仅满足了城市水利防洪和生态建设的要求，更加有效改善了当地水环境和生态环境。

在这一历史进程中，中国疏浚借势转型升级，实现了在水环境生态治理与保护领域的跨越式发展。十多年间，引进、研制了适用于河湖库污染底泥清除的多种挖泥机具；制定和完善了与之相配套的多个工艺、工法。在此基础上，将产业链不断延伸，形成了以污染源治理为核心，根治与防治双管齐下，将末端治理与源头控制有机结合的治理思想，并提出了开展基于全面调查的流域水环境综合治理建设规划；积极实施流域废水减排计划；在河湖库周边适宜区域构建用于截留和利用污染物的人工湿地；在水域内部栽植沉水/挺水植物、投放植食性水生动物、布设生态浮岛等多种工程技术措施，从而形成了较完整的水环境生态治理与保护成套技术。目前，中国疏浚已经成为这一领域的领跑者和主力军。

水环境生态治理与保护工作任重道远，

中国疏浚仍须努力。2015年、2016年国家先后颁布的《水污染防治行动计划》和《土壤污染防治行动计划》是水环境生态治理与保护的行动准绳。中国疏浚要加快高精度卫星数字化全球定位系统RTK-DGPS和水下摄像等精确定位技术、现场监控以及显示系统在江河湖库污染底泥疏浚工程中的应用与推广步伐；探索采用“数字化疏浚原理”实现污染底泥清除的全过程控制；大力开发具有自主知识产权的环保疏浚关键设备；加快研制底泥高效脱水减容与资源化利用技术和设备，从而进一步提升中国疏浚在中国水环境生态治理与保护领域的支撑和引领能力。

青山绿水就是金山银山，建设美丽中国和绿色中国，是中华民族的“复兴之梦”“振兴之梦”。中国疏浚要为之努力奋斗，要在推进绿色发展、建设美丽中国的伟大征程中做出积极贡献。

目录 | CONTENTS

中国疏浚 CHINA DREDGING

(6期/年)

2017年第3期

(总第31期)

内部发行

主办单位：中国疏浚协会

承办单位：中交天津航道局有限公司

主编：钱献国

副主编：朱宇光 高伟

彭旭更 陈晓敏

责任编辑：韩晓喆 陈琦

郭恩泽 王云帆

周斌

编辑出版发行：《中国疏浚》编辑部

地址：北京市朝阳区西坝河西里

28号英特公寓C6~12M

卷首语 Preface

充分发挥“中国疏浚”

在水环境生态治理与保护领域的主力军作用 / 苏俊

01

特别策划 Special Feature

肩负重任 勇于担当 / 子文

05

环保疏浚产业链延伸

与流域水环境治理的思考 / 顾明等

06

滇池内源污染底泥环保清淤工程分析及展望 / 楚维国等

12

河湖黑臭水体整治相关工艺

与工程施工实例 / 刘开进

15

兴禹·疏浚之路 / 肖乾

21

百舸争流 奋楫者先 / 易国文

23

湖泊污染内源治理技术综合应用与实例 / 叶桂友

25

发挥传统优势，聚焦生态环境，

打造雄安新区的中交“水名片” / 赵东华

29

管理聚焦 Management Focus

大江展宏图 改革再出发 / 葛新兴

32

为长江航道“壮腰”

36

国际视野 Around the world

导师简介 / Dr. ir. S. A. Miedema

38

代尔夫特砂子、黏土，岩石切割模型的对切削过程的分类 / Dr. ir. S. A. Miedema

39

浅谈气候变化对于船舶与海洋工程结构设计的影响 / 邹涛

42

创新动态 News on Innovation

螺旋刀头：环保疏浚（极端环境疏浚）作业的完美设备 / 王文平（译）

46

传统水利船闸项目干出新花样 / 杨少波

53

学术论坛 Academic Forum

城市河道水体综合治理研究 / 张聪等

55

生态浮床技术在水污染修复中的研究进展 / 王逢武

59

深圳茅洲河清淤及底泥处置工程简介 / 郑健秋

67

PHC管桩沉桩桩位控制要点分析研究 / 江益波等

72

浅谈边坡生态修复技术 / 张雪娇

76

9029 绞吸式挖泥控制系统（DCS）应用 / 周林等

80

复杂工况下的袋装砂斜坡堤施工特点分析 / 杨程鹏

83

凿岩棒技术在特殊疏浚环境下的应用 / 田军

89

百年百典 Centennial Celebration

海河早期的裁弯取直工程 / 薛崇清

93

征稿启事 Notice of Inviting Contributions

95

肩负重任 勇于担当

栏目策划人 子文



顾明
中交天津航道局有限公司
总工程师 教授级高工
交通部水运工程建造大师



胡保安
中交天津航道局有限公司
环保技术中心主任 教授级高工

上世纪 90 年代，云南昆明滇池污染防治处置工程启动。国家大规模水环境生态治理与保护工作由此拉开帷幕。

20 多年来，“中国疏浚”会员单位伴随着水环境生态治理与保护的前行历程，建树了一个又一个业绩。昆明滇池、无锡太湖、湖南洞庭湖、宁波东钱湖和宜昌沙河、深圳茅洲河等水环境生态治理与保护工程，处处都镌刻着奋斗者的足迹。

本期特别策划栏目，邀请部分会员单位介绍阿湖等水环境生态治理与保护工程概况、工艺方案和创新成果，同时，对今后类似项目的实施提出意见、建议等。这些，对水环境生态治理与保护都有具有借鉴意义。

水环境生态治理与保护，是生态文明建设极为重要的组成部分。中国疏浚肩负时代重任，既要勇于担当，更应成为生态文明建设的主力军。

环保疏浚产业链延伸 与流域水环境治理的思考

以资源为代价的经济高速发展给我国水环境带来了巨大的压力，这集中表现在流域水环境恶化。本文从环保疏浚的功能入手，分析了环保疏浚产业链延伸方向，及其与流域水环境管理的紧密相关性，进而分析了以“水量、水质、水生态、安全、管理”为核心，以“水环境保障、水污染控制、水生态修复”为目标的流域水环境综合管理体系，最后以某小流域为例，探讨由工程、生态、管理措施组成的综合管理手段在當地水环境治理中进行应用。

水是一个区域的自然资源与经济资源。近年来，我国由水环境恶化所造成的水质性、水量性水资源短缺问题愈发突出，由此导致的治理成本与经济损失也呈逐年增加趋势。研究发现，1987—2001年间太湖流域水环境呈现逐渐恶化的特征，15年间水环境恶化的货币化成本增长约1251亿元，其中苏南地区2001年的水环境货币化成本已占到该地区GDP的19%^[1]。另一方面，采用一般均衡模型(CGE)研究发现，对海河流域水环境进行治理虽然会减少传统意义上的GDP，但绿色GDP却呈现出增长态势，社会经济整体朝良性循环方向发展^[2]。因此，十分有必要对流域水环境进行治理，提升区域活力与经济实力。

生态系统、经济系统和社会系统的复合形成了流域特有的生态经济系统^[3]。早期的流域治理多是在河湖库等水体出现污染时才开展截污、环保清淤等工程措施。近年来，随着生态学理论与实践的不断深入，给流域水环境治理提供了更加丰富的手段。在我国也开展了很多有益的尝试，如滇池、太湖^[4]，但由于治理手段的局限性，治理结果差强人意。因此，需要从环保疏浚等工程措施出发，这就要求对流域水环境治理有新的认识。

环保疏浚是解决水体内源污染的一项重要工程措施，该技术是清除水体内污染物源，减少底泥污染物向水体释放，从而改善水质条件，因此环保疏浚与流域水环境治理有着紧密的关联性。下面从环保疏浚入手，对流域水环境治理策略与措施进行详细阐述。

1 环保疏浚于流域治理的内生性

河湖库区的污染底泥是其水体中营养物质与污染物的蓄积地，在截断外源污染的情况下，仍会向水体释放蓄积物。基于这一问题，环保疏浚应运而生。该技术具有治理内源污染彻底、见效快的特点，因而自诞生起便作为治理河湖库水环境污染的一把利器而广泛应用。而以水环境改善为核心抓手的流域治理，同样要求清除水体内源污染，从而发挥水资源的生态效益、经济效益与社会效益。因而，环保疏浚是流域水环境治理的一项重要的工程治理措施。

目前，虽然环保疏浚技术融入了环境保护与生态修复的理念，但这一概念仅强调了底泥疏浚工程，而对底泥脱水与资源化处置、余水处理等后续处理流程未加重

视。以这一概念为指导开展的环保疏浚工程也出现了不同程度的问题。如比利时Scheldt河道自1980年疏浚完成后，在渗滤作用下，淤泥中的重金属迁移转化到沿岸土壤中，从而影响了当地农业的正常发展^[5]。类似问题也存在于巴西里约热内卢的Jacarepaguá河流域^[6]。为此，应延伸环保疏浚产业链以使其进一步适应流域水环境治理的需要。

环保疏浚工程需要采用一定的水处理技术，如絮凝沉淀技术，对泥水分离后的余水进行净化处理以降低SS、COD等污染指标，因而相关水处理技术的积累与储备可以促使从业公司进入工业污水、市政污水等水处理领域。另一方面，疏浚泥土的主要组成为粘土、泥沙、有机质和各种矿物，这与陆域上土壤的组成基本相同。而底泥无害化处理可以借鉴土壤相关处置技术，同时底泥资源化处理处置技术更可推广应用到类似污染土壤的修复当中，因而环保疏浚行业与污染土壤治理行业具有内在的关联性与相互借鉴性。对于含有特定污染物的疏浚土可借鉴市政污泥、工业固废等处置技术进行处理，从而引导环保疏浚行业向固体废弃物处理领域发展。这与以对流域水土等自然资源进行保护、改良与合理利用为目标的流域综合治理理念不谋而合^[7]。因此，可以设想环保疏浚产业链的延伸发展将会极大地促进流域水环境的改善与提升。

2 流域水环境综合治理策略

流域水环境污染表现为污染物超标，而各污染物又是由于人类的社会经济活动产生的。因此，治理水污染必须首先确定产生污染的主要社会经济因子^[8]。焦锋等^[9]对TN、TP、COD三项主要污染指标与工业产值、耕地面积、人口等社会经济因子进行了偏相关分析，发现COD污染主要与农业、人口直接相关，TP受工业与人口的影响，而TN则受耕地与人口的影响。因此，水环境污染并非单纯的水体污染，而是由区域内社会经济行为主导的水环境恶化问题，为此宜从“就水治水”转变为“源头治理”的理念，充分体现“水量、水质、水生态、安全、管理”5方面核心内容^[10]，采取“水资源保障、水污染控制、水生态修复”的流域水环境综合治理策略。

2.1 水资源保障策略

水资源的可持续开发利用是实现经济社会可持续发

展的重要影响因素之一。为此，首先应坚持“以供定需”的原则，牢固树立流域水资源有限的观念，综合采取多种水资源管理措施。适合采取的一种方式是建立流域管理结构，形成国家、流域机构和地方水行政主管部门为基础的水资源三级管理体系，明确各级机构职责，统一管理特定流域的水资源开发利用与保护工作。同时，社会经济发展的用水需求必须走提高流域水资源利用效率的内涵式发展道路，在流域水资源成为稀缺资源的背景下，要尽力压缩流域水资源密集型产业，选择和发展节水型产业，推行节水型生活方式。

除管理手段外，还可采取工程技术手段，从源头减少水资源消耗量，同时增加水资源产生量。对于前者宜引进和开发节水技术，提高单位流域水资源生产率，争取用最少的水满足社会经济发展的要求。为了增加流域水资源产生量，可利用水资源时空分配不均匀的特征，采取修建调水构筑物、水库大坝等水利工程，增加缺水区域的水资源净含量。此外，还可采用多种工程措施，对非常规流域水资源（包括中水、污水、雨水、微咸水和海水）进行利用。其中，由于海水资源静态存量极高，因此无论采用海水直接利用（冷却、环卫等）还是海水淡化，都可缓解水资源短缺的问题。特别地，将区域农业、工业发展模式与海水淡化行业结合，通过产业融合形成海水淡化——生态农业、海水淡化——绿色工业有机共同体，将会极大改善流域水资源供应——利用格局，这其中也需要水资源管理措施的支撑与补充。

2.2 水污染控制策略

流域是水系的一个完整的封闭单元，从流域层面开展污染防治研究，实行流域水环境协调管理是一种必然^[11]。为此，需要以污染防治为核心，开展污染源治理，从源头上防治污染，做到末端治理与源头控制的有机结合。对流域开展全面调查，形成流域水环境综合治理建设规划，对水污染防治设立长远目标，实施流域废水减排计划。执行过程中，由政府主导以立法等手段强化污染减排，加大落后产能淘汰力度，促进产业结构、空间布局转型与经济发展模式转变。此外，还应坚持总量控制原则与废水集中治理的方针，计算各流域一定浓度的废水允许排放数量，将排放指标分配或拍卖给流域内的

企业或家庭，严格控制废水排放总量。同时，基于政府、公众、企业之间的制约关系，成立流域水污染控制协调小组，组织三方开展协商、引导支持公众参与水污染治理工作^[12]。对于跨区域的流域，还应加强政府之间在资金、技术、立法等方面的合作。

流域水污染控制的首要任务是对污染源进行有效处理，为此宜采用“控源截污——内源削减——生态修复”的治理思路，而具体治理工程包括多种类型，各地可以根据当地的水环境状况、经济条件、技术条件等，因地制宜地选择合适的控制措施^[13]。其中，对于点污染源治理，可根据流域点源排放量和区域分布规律，实施城市生活污水与园区工业污水的集中治理工程，实现流域废水治理的规模经济效果；对于非点污染源，可通过水土流失治理、农村生活污水收集处理、生态农业建设等措施，并结合非点源末端的湖滨带湿地加以综合治理；对于内污染源，可在充分论证的基础上采用环保疏浚成套处理工艺对底泥进行疏挖，同时减少二次污染的产生。

2.3 水生态修复策略

水生态系统是由水域及周边地区生产者、消费者、分解者及无机环境组成的复杂自然系统，对自然界的水循环过程具有重要的调节作用，并显著影响农业、渔业等周围人类社会系统。为此，应在削减流域污染的基础上，充分发挥流域的自净作用，修复并保护流域的生态结构与功能，开展有效的生态修复与重建工程，其核心目的是修复受损水生态环境，重建良好水生态系统。具体地，可采取以生态方法为主，物理、化学方法为辅的水生态修复策略。

物理方法包括引水稀释、底泥清除或覆盖、曝气增氧等，该类法可在短时间内减少污染物的浓度和负荷。化学方法主要是指通过向水体中投入除藻剂、锁磷剂等化学调理剂，控制水体中污染物的迁移过程，从而在短期内使水体达到预期标准。而配合城市规划开展的多自然河道整治工程、岸带修复工程、人工湿地净化工程、人工浮岛与水生动物净化工程，则是利用动植物的新陈代谢作用对污染物进行吸收、同化与降解，对受损水环境进行修复，达到净化水质、构建水生态系统结构与功能的目的^[14]。

3 流域水环境综合治理措施

流域水环境治理是一件系统工程，单一的治理措施无

法实现综合改善的目标。上节系统介绍了流域水环境治理的策略与思路，并列举了代表性治理手段，这些治理手段按照性质差异可划分为工程措施、生态措施与管理措施，这些措施是开展水环境综合治理、实现水资源保障、水污染控制、水生态修复的核心技术手段。下面对各种治理措施进行详细说明。

3.1 工程措施

污染物产生量与流域汇入量是降低流域水环境综合承载能力、威胁流域水资源、水生态、水环境安全的关键因素。因此，采用工程措施截断污染物入河湖库量是最为直接的一类手段。为此，可以因地制宜的建设垃圾、污水处理设施，实行污染源集中处理、达标排放。结合流域水功能区保护要求，开展入河湖库排污口整治、进行雨污分流、截污导流、环保疏浚、河道曝气等一系列水污染控制、水资源保障工程措施。在集水区，实施多自然河道整治工程，恢复河流弯曲多样化的流动形态，为生态修复的实施提供基础保障。同时，还可采用修建水库大坝、实施远程调水等水利工程手段，污水深度处理利用、海水淡化等非常规水资源利用手段，提升流域水资源保障水平，提高生态需水满足能力，降低水污染程度。

3.2 生态措施

相比工程措施，生态修复措施是借自然手段改善水体环境，逐步完善生态系统结构与功能的有效方式，二者相辅相成，不可偏于一方。为了实现流域水资源可持续利用、自然社会和谐，同时营造出良好的亲水景观，可在流域综合治理过程中融入生态治理手段，使水体更健康、更具生命力。具体地，宜合理选择造林树种，在宜林地、石漠化土地、河湖岸带区域进行植树造林，提高森林覆盖率，有效控制和防治流域的水土流失^[15]，降低面源污染水平。同时可以充分发挥已有水利工程的功能，综合利用水域内外的滩涂、水塘等自然资源及人工合成材料，在适宜区域（如水库周边区域、非点源污染区域）构建人工湿地，截留和利用污染物质^[16]。在水域内部，栽植多种沉水/挺水植物，投放植食性水生动物，布设生态浮岛等，从而强化天然水体的自净能力与恢复能力，修复河流水生态系统，营造出良好的水生态景观，最终提高水环境综合承载能力。

3.3 管理措施

采用管理手段对流域社会经济进行调控是解决水污染问题、改善水资源保障能力、重建水生态系统的根本性积极措施。首先，应结合当地城市总体规划，提出合理的流域水污染防治行动计划等专项规划，并设立流域水环境管理机构，协调区域间利益与分歧。同时，对于经济社会规模与结构已极端不合理的地区，应采取法律、法规措施对社会经济规模和发展速度进行调整，即采取一定的社会经济宏观调控对策，合理调整农业结构，实施生态移民政策，引导工农业布局与结构改变。具体地，要对化工、造纸、制药、酿造、印染等污染较重的行业进一步加强治理，对严重污染的企业实行更为严格的淘汰制度^[17]，同时大力发展战略农业、绿色工业等环境友好型行业。而对已经做到达标排放但污染物排放总量依然较高的企业，宜实行清沽生产与循环经济。此外，建立生态补偿机制，将区域内收取的水资源费、排污费以一定的比例补偿投向流域乡镇，发展生态环保型产业。

总之，针对特定流域需要因地制宜地进行系统设计与规划，统筹区域内的生产经济活动，在实施阶段注重工程措施与生态措施并举，同时强化立法、规划等管理手段的综合运用，从而保证流域经济、自然协调发展，流域水环



图 1. 流域水环境治理策略与措施

事实上，在开展流域水环境治理过程中，无需采用所有治理措施，可选择性的采用若干治理措施，在必要时进行技术创新，形成集成治理技术体系。下面以某流域的水环境综合治理为例，对各种措施的集成应用进行介绍说明。

4 某流域水环境治理案例

4.1 流域概况

该流域是典型的以河流为主体的小流域。流域内常年气候温和，降水量充沛，平均气温约 16℃。流域河系共有 8 条入湖河流与 4 条灌溉渠，多年平均径流量约 1000 万 m³/年。河流上游存在 1 库区，出流后经各灌区汇水、分水至各条河流，用于灌溉，灌溉回水作为河流补充水再次汇入河流，多年平均径流量约 330 万 m³/年。由于库区土壤本身容易侵蚀，加上部分山体的植被稀疏，库区周围山体水土流失比较严重。

流域主要涉及人口总计约 38000 人。流域内牲畜养殖基本上是以小规模的圈养为主，土地利用类型包括林地、草地、水库塘坝、裸岩石地、村镇用地、平原旱地等多种。流域农作物施用的化肥种类包括氮肥、磷肥、钾肥以及复合肥，同时使用的农药品种较多，其中有机磷农药比重较大。

4.2 流域水环境问题

河道部分河段为“三面光”人工河道形式，两侧均为硬质堤岸，生态破坏较严重，且淤积了数量较多的淤泥杂物等。途径某一县城时，部分生活污水直接进入河道，致使河道中垃圾较多，河水浑浊。经过县城后，河道两侧有农田和村庄分布，农灌回水与村落污水汇入该河道。

水质监测资料显示，上游水库水质为 V 类，主要超标因子为 TN，同时该流域基本表现为上游水质较好下游水质较差的特点，其中下游水质为 V 类水平，主要超标因子为 TN、TP、COD。中游由于城市生活污水、农村生活污水以及农业废弃物的排入而使得水质同样较差。此外，根据卫星遥感调查统计资料，流域内存在不同程度水土流失面积约 6.50 km²，约占流域面积的 31%。以上问题限制了当地的进一步发展，因此十分有必要开展流域水环境治理工作。

4.3 流域水环境治理措施

充分考虑该流域的主要环境问题，结合流域污染特征，因地制宜采用“控源—截污—生态修复”并举的污染源治理方式，对流域内主要污染源进行系统治理，构建截污净化体系，实施河流水质改善与环境管理，实现流域水环境整体改善的目标，为此提出如下成套治理方案，如图 2 所示：



图 2. 某流域水环境治理技术路线图

(1) 上游集水区水源涵养修复工程

上游水库周边人工活动强烈，植被少、水土流失严重，应进行生态修复，并建设全系列生态植被带、净化径流和减少泥沙入库。同时，治理库区水土流失问题，消除水土剧烈侵蚀区，采取的措施包括：植树造林、低效林改造、封山育林以及道路水土保持措施。

(2) 城镇污染控制工程

这里主要是对县城河道进行治理。具体宜采用环保疏浚的手段对县城河道进行彻底清淤，保证河道泄洪排涝功能，同时发挥河道的生态景观功能。

(3) 流域内村落污染控制工程

对流域内的所有村落进行污水收集处理工作，在考虑管网条件的情况下，将部分村落的生活污水纳入污水管网集中处理，其余村落的生活污水经收集后采用分散式低动力污水处理工艺进行处理。同时，针对人畜粪便与秸秆资源化利用，可在附近区域建设生物净化公厕、生物发酵床以及堆肥发酵池，全面提高人畜粪便和秸秆的资源化。此外，还需完善区域内的垃圾收运系统，在流域内增设可移动式环卫垃圾箱，增配垃圾清运车，与各村现有垃圾池配合使用，加强村落的垃圾清运管理，增强村民的环保意识教育，确保垃圾收集清运。

(4) 农业面源污染控制工程

针对农业面源污染问题，可在适宜区域建设处理规模达 35000 m³/d 的人工湿地处理系统，对农田污水进行适当的生态处理。将进入河道的 3 条灌溉渠改造为生态沟渠。针对农田废弃物，在流域设置沤肥池对农作物秸秆等农作废弃物进行发酵，实现资源化利用。最后，在部分地区开展生态农业建设，减少污染物排放。

(5) 清水通道生态修复工程

针对河道部分河段存在“三面光”的问题，进行生态

改造，发挥堤岸和河床的生态功能。同时，构建总处理规模达40000m³/d的生态砾石床系统，将河道中/引水渠的水通过闸控系统引入其中，在经过净化处理后排往下游；在河流旁构建规模为10500m³/d的人工湿地系统；在河道内设置三座增氧堤埂，提高水体的复氧能力。此外，借助绿色植物构筑河滨生态缓冲带（植物带、竹篱、灌草带等），从而降低人为活动对河流的干扰和破坏，并提高河流的水质净化能力。

（6）湖滨区缓冲带生态修复方案

在流域内构建湖滨缓冲带。同时，对目前高污染的种植结构进行调整，调整为以种植低污染经济作物为主的种植结构，降低农田面源污染负荷，并将缓冲区内养殖行业搬迁至流域外。

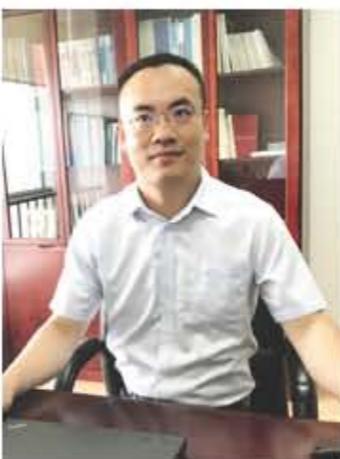
5 结论

流域水环境治理关系着群众饮用水源的安全、关系着工农业生产的稳定、关系着生态环境的协调。环保疏浚作为直接去除水体内源污染的一种工程措施，已被广泛应用于流域水环境综合整治当中。同时，随着行业发展与产业融合的不断进行，环保疏浚产业链将延伸至污染水土治理与固体废弃物治理领域，从而更好的服务于大尺度水环境综合整治工作的开展。因此，环保疏浚行业对于流域水环境治理具有显著的内生性特征。

流域水环境治理具有跨区域、跨时间、跨行业特征。总体而言，目前我国在流域水环境治理中主要采用工程治理措施，而忽略了生态治理措施尤其是管理手段的集成应用，同时对水资源、水环境和水生态的管理还处于割裂状态^[17]。基于此，在针对特定流域开展水环境综合治理的过程中，宜坚持“源头治理”的理念，以水资源保障、水污染控制、水生态修复为目标，统筹区域内的生产经济活动，采用工程、生态与管理多种措施来实现预期的水环境改善目标。

参考文献：

- [1] 关劲桥，黄资金，刘红明，刘晓磊，陈雯.太湖流域水环境变化的货币化成本及环境治理政策实施效果分析——以江苏省为例.湖泊科学, 2003, 15 (3): 275-279.
- [2] 夏军，黄浩.海河流域水污染及水资源短缺对经济发展的影响.资源科学, 2006, 28(2): 2-7.
- [3] 李仁辉，潘秀清，金家双.国内外小流域治理研究现
- 状.水土保持应用技术, 2010(3): 32-34.
- [4] 孟捷.基于雨洪调控的山地城市面源污染控制组合系统研究.重庆大学, 重庆, 2016.
- [5] B. Vandecasteele, V.B. De, F.M. Tack. Heavy metal contents in surface soils along the Upper Scheldt river (Belgium) affected by historical upland disposal of dredged materials. Science of the Total Environment, 2002, 290(1-3): 1-14.
- [6] M.S.S. Almeida, L.S. Borma, M.C. Barbosa. Land disposal of river and lagoon dredged sediments. Engineering Geology, 2001, 60(1-4): 21-30.
- [7] 王礼先.小流域综合治理的概念与原则.中国水土保持, 2006(2): 16-17.
- [8] 徐前荣.太湖流域水环境治理及区域协调研究.南京农业大学, 南京, 2009.
- [9] 焦峰，秦伯强.太湖水环境污染的社会经济因子分析.地域研究与开发, 2002, 21(2): 89-92.
- [10] 金相灿.城市河流污染控制理论与生态修复技术.科学出版社, 2015.
- [11] 孟伟，苏一兵，郑丙辉.中国流域水污染现状与控制策略的探讨.中国水利水电科学研究院学报, 2004, 2(4): 242-246.
- [12] 陈梅，钱新.公众参与流域水污染控制的机制研究.环境科学与管理, 2010, 35(2): 5-8.
- [13] 吴彦霖，左其亭.珠江流域水质现状及以区域合作为特色的水污染控制措施.气象与环境科学, 2007, 30(3): 20-23.
- [14] 勇应辉，许博涵，王新军.结合社区污水回收处理规划的城市水生态修复策略.2013城市发展与规划大会, 广东, 2013.
- [15] 马勇，马玉春，吴怀里，丁晓曦.滇池流域生态修复治理措施探讨.林业调查规划, 2011, 36(2): 104-105.
- [16] 夏军，程绪水，左其亭，姜永生，万一.淮河流域水环境综合承载能力及调控对策.科学出版社, 2009.
- [17] 贾颖娜，赵柳依，黄燕.美国流域水环境治理模式及对中国的启示研究.环境科学与管理, 2016, 41(1): 21-24.



楚维国

中交天津港航勘察设计研究院有限公司
副总经理 高级工程师

吉星明

中交烟台环保疏浚有限公司
副总经理

张家瑞

中交天津港航勘察设计研究院有限公司
工程师

滇池内源污染底泥环保清淤工程分析及展望

滇池内源污染底泥清淤工程历经20多年，有效削减了滇池内源污染，对控制滇池富营养化起到了重要作用。本文分析了滇池内源污染底泥清淤工程的技术工艺，探讨了未来湖泊环保清淤在精确疏挖技术、清泥脱水减容技术和清泥资源化利用技术发展趋势，为中国湖泊环保清淤研究提供参考。

湖泊污染分为外源污染和内源污染，内源污染负荷是湖泊水体富营养化的关键因素^[1-2]。氮、磷等营养物质是湖泊富营养化的主要因素^[3]。底泥是湖泊营养物质的重要蓄积库，底泥沉积物氮释放是湖泊水体氮的重要来源^[4]。当湖泊流域的外源污染基本得到有效控制，采取工程措施，如底泥疏浚工程，是控制湖泊富营养化的有效对策之一^[5-7]。

滇池是中国内陆水体水污染防治工作重点关注的“三湖三河”之一^[8]。内源污染已经成为影响滇池水体富营养化和水体自净能力的一个重要因素。为了控制滇池富营养化，削减内源污染，从1998年开始，昆明市先后实施了滇池草海污染底泥疏挖及处置一期工程（简称“一期工程”）、草海底泥继续疏浚工程（简称“继续工程”）、滇池污染底

泥疏挖及处置二期工程（简称“二期工程”）及滇池外海主要入湖河口及重点区域底泥疏浚工程（简称“三期工程”）。作为全国率先进行底泥环保疏浚的湖泊，历经20多年，滇池环保清淤工程成为我国单个湖泊疏浚时间跨度最长的工程。本文通过对比分析滇池底泥历次环保清淤的工艺及技术发展，提出环保清淤技术发展趋势，为我国其它湖泊环保清淤提供参考。

1 滇池历次清淤工程位置

滇池污染底泥疏浚工程是滇池污染综合治理项目的重要组成部分，目的是通过消除长期沉积在滇池底泥中的污染物，削减内源污染负荷，控制滇池的内源污染，滇池历次清淤位置见图1。

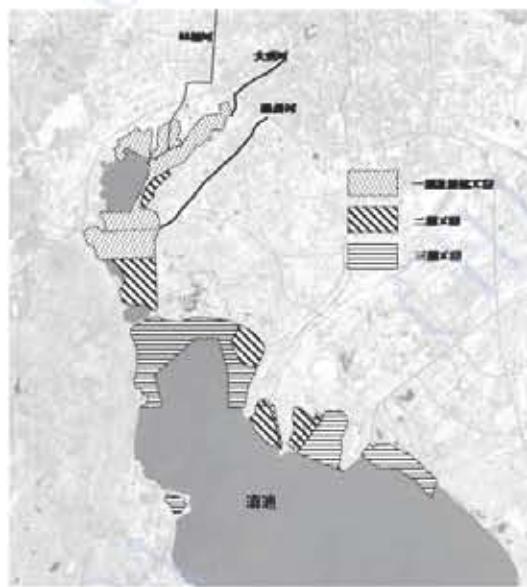


图1 滇池清淤工程位置图

“一期工程”（1998年2月—1999年10月）清淤区为内草海和外草海北部，面积283.0万m²；“继续工程”（2001年3月—2001年12月）清淤区为外草海中部湖区、大观河下段河道以及船房河、运粮河、新河、王家渠的入草海河口冲积扇区域，面积192.4万m²；“二期工程”（2002年—2010年10月）清淤区为草海南部、盘龙江和大清河河口区域，面积420.1万m²；“三期工程”（2010年—至今）清淤区为外海北部、宝丰湾、宝象河河口湖区，面积895.2万m²。

2 滇池历次清淤工程分析

2.1 清淤效果分析

环保底泥清淤，通过清除沉积在滇池底部的污染底泥，可有效削减氮、磷等湖泊富营养化因子，滇池历次清淤工程量及污染物清除情况见表1。

表1 滇池历次清淤工程量及污染物清除情况

工程名称	清淤量(万m ³)	总氮(t)	总磷(t)	重金属及砷(t)
一期工程	432.3	8230.5	1884.5	4430.7
继续工程	209.7	4006.9	489.5	388.6

二期工程	356.4	11212.5	4704.1	1468.7
三期工程	503.8	3381.7	1771.0	685.4
合计	1502.2	26831.6	8849.1	6973.4

通过表1可以看出，滇池历次清淤工程，在清除1502.2万m³污染底泥的同时，分别削减总氮、总磷和重金属及砷26831.6t、8849.1t和6973.4t，消除了大量氮、磷及重金属污染物。

王莹^[9]选取和分析了2011年7月和8月“二期工程”草海南部、外海北部的盘龙江和大清河河口三个疏浚区总氮、氨氮、总磷的含量，与草海中心（靠近草海南部疏浚区）和晖湾中（靠近盘龙江、大清河疏浚区）两个国控监测断面的监测结果对比，结果表明：相较于草海中心和晖湾中两个国控监测断面，“二期工程”疏浚区水体或间隙水中总氮、氨氮及总磷含量均不同程度低于未疏浚区对照点，表明“二期工程”通过清除污染底泥，提高了水体和底泥的自净能力，对改善滇池水质起到了良好的效果。

2.2 清淤技术工艺分析

滇池污染底泥清淤工程技术工艺主要包括污染底泥疏浚及输送、底泥脱水减容和脱水底泥处置及资源化利用三个方面。滇池历次环保清淤工程技术工艺见表2。

表2 滇池历次环保清淤工程技术工艺

工程 名称	污染底泥疏浚 及输送		底泥脱水 减容		脱水底泥处置 及资源化利用	
	清淤设备	底泥输送	底泥脱水 工艺	底泥处置	资源化利用	
一期工程	环保绞吸 挖泥船	管道密闭 输送	自然干化	分散堆存 封闭处置	植草覆盖	
继续工程	环保绞吸 挖泥船	管道密闭 输送	自然干化	分散堆存 封闭处置	植草覆盖	
二期工程	环保绞吸 挖泥船	管道密闭 输送	自然干化 +人工辅 助干化 +土工袋	基底修复	防护林带 和生态湿 地建设用 土	
三期工程	环保绞吸 挖泥船	管道密闭 输送	自然干化 +底泥脱 水固结一 体化	基底修复 +堆存封 闭处置	基底修复 区种草覆 盖；存泥 场封存、 绿化	

通过上表可以看出，滇池历次污染底泥环保清淤工程船型均采用绞吸式环保挖泥船，通过配备环保绞刀罩防护减少施工二次污染，为避免底泥输送过程中产生二次污染，

绞吸后的泥浆通过管道密闭输送。

由于滇池流域内底泥堆场用地逐年紧缺，随着脱水技术的进步，滇池底泥脱水工艺经历了由单纯自然干化到自然干化与人工辅助干化、土工管袋脱水、底泥脱水固结一体化技术逐步相结合的过程。脱水底泥脱水固结一体化技术是采用板框压滤机脱水的方式，使得底泥含水率降至一定程度，成型固结后进行处置。该方法占地少，处理工艺循环、封闭、清洁，避免了污染源转移和二次污染的产生。

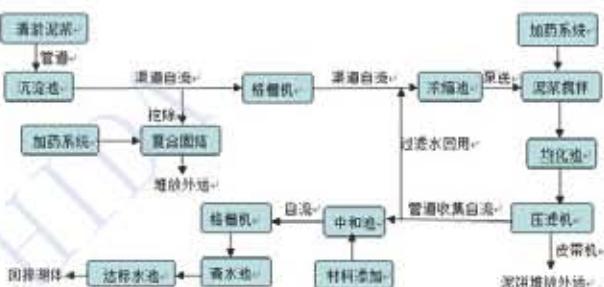


图2 疏浚底泥脱水固结一体化工艺流程

由于清淤量大，滇池脱水后底泥多用于湖边用地的基本修复或堆存封闭处置；底泥资源化也仅限于就地的植被种植。实现清淤底泥的减量化、无害化、稳定化处置和资源化利用，是滇池环保清淤工程亟待解决的问题。

3 湖泊环保清淤技术未来发展趋势

3.1 精确疏挖技术

疏浚前，精确测量污染底泥的浮泥层厚度与密度、沉积层厚度，可为有效疏浚深度、疏浚区位置及污染底泥量等重要的疏浚参数提供技术保障，避免过度或盲目疏浚造成生态破坏，并且可在一定程度上减少污染底泥及余水的处置量，进而节约工程费用。目前，高精度的卫星数字化全球定位系统RTK-DGPS和水下摄像等技术正在发达国家的环保疏浚领域中逐步得到广泛应用。我国的环保疏浚行业需大力加强此类精确定位技术、现场监控以及显示系统在污染底泥疏浚工程中的应用，探索采用“数字化疏浚原理”实现污染底泥清除的全过程控制。在此基础上，还应开发具有自主知识产权的环保疏浚关键设备，如环保绞刀、防护罩环保绞刀罩等。

3.2 高效底泥脱水减容技术或设备

疏挖出来的污染底泥，因其疏浚后高含水率特性，具有体积大、质量大的特点，不仅造成后续运输困难、处理

设备容积大、处理场地面积大、经济性差的问题，而且高含水率污泥无法达到后期底泥最终处理和利用的要求。因此，研发高效底泥脱水减容技术或设备，降低底泥含水率对后续处理处置及进一步资源化利用具有重要意义。

3.3 底泥的资源化利用技术

疏浚底泥是一种很有利用价值的潜在资源，因为受到多种条件的制约，致使很多有价值的疏浚底泥成为了废弃物。我国对泥质废弃物的资源化利用研究较晚，从现有工程运用的案例看，通过脱水干化将底泥转化为可以再生利用的土材料，或作为填埋处置的预处理手段是符合我国国情的底泥处理及资源化途径。

4 结论

湖泊环保疏浚应以去除污染底泥、削减内源污染，改善水质、恢复生态系统稳定性为目的。滇池环保清淤工程历经20余年，取得了一定治理效果，积累了大量的经验。随着我国湖泊疏浚项目的不断增加，湖泊疏浚的精确疏挖技术、底泥脱水减容技术和底泥资源化利用技术，将是未来湖泊环保清淤行业发展的重点技术方向。

参考文献：

- [1] 邓伟明, 徐晓梅, 陈春瑜, 等. 滇池表层沉积物中氯氮的释放特征 [J]. 环境科学研究, 2015, 28(04):524–531.
- [2] 汪森, 严红, 焦立新, 等. 滇池沉积物氯内源负荷特征及影响因素 [J]. 中国环境科学, 2015, 35(01):218–226.
- [3] 郭怀成, 孙延枫. 滇池水体富营养化特征分析及控制对策探讨 [J]. 地理科学进展, 2002, 21(05):500–506.
- [4] 米娟, 潘学军, 李辉, 等. 滇池水体和表层沉积物间隙水中氯分布特征研究 [J]. 安全与环境学报, 2013(06):128–132.
- [5] 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(03):189–192.
- [6] 王莹, 王道伟, 李辉, 等. 内陆湖泊富营养化内源污染治理工程对比研究 [J]. 地球与环境, 2013, 41(01).
- [7] 胡小贞, 金相灿, 刘倩, 等. 滇池污染底泥环保疏浚一期工程实施后环境效益评估 [J]. 环境监控与预警, 2010, 02(4):46–49.
- [8] 张家瑞, 杨逢乐, 曾维华, 等. 滇池流域水污染防治财政投资政策绩效评价 [J]. 环境科学学报, 2015, 35(2):596–601.
- [9] 王莹. 滇池内源污染治理技术对比分析研究 [D]. 昆明理工大学, 2012.

刘开进
中国疏浚环保控股有限公司 江苏兴宇控股集团有限公司
董事长



河湖黑臭水体整治相关工艺与工程施工实例介绍

我国城市有许多河道、湖泊水体黑臭污染严重，对其附近居民日常的生活环境有极大的影响，各地方政府进行城市河道黑臭水体的治理工作已经到了刻不容缓的地步。江苏兴宇控股集团有限公司，中国疏浚环保控股有限公司自主研发的水环境治理“一体化施工方式”，其技术与设备具有适用性、综合型、经济型、高效性和安全型，对内陆城市江河、湖泊黑臭水体的综合治理工程项目的施工有很显著的工作效益。

江苏兴宇控股集团有限公司，中国疏浚环保是国内极少数拥有全套湖泊/河道清淤、水库环保清淤、污泥固化/资源化处理设备和技术的企业。自主研发“一体化施工方式”的水环境综合治理设备已经在国内多地进行了成功的实践，典型工程案例有：武汉东湖（官桥湖）清淤工程48万m³、武汉南湖一期清淤工程110万m³、淮安清浦老城区黑臭河道整治25万m³、武汉南太子湖综合整治清淤工程52万m³等工程项目。

1 环保清淤

1.1 底泥严重污染的结果：

河川、湖泊污染的特点，就是不仅其

水质受到严重污染，底泥的污染也非常严重，水体中大量的污染物沉淀后大部分积累在湖泊、河流的底泥中，可以说，底泥是排入河流中各种污染物的主要归属处。底泥作为河湖水体生态环境的重要组成部分，在河湖水体环境中具有特殊的重要性。底泥可以吸附水体中的污染物，降低水质污染程度。可是一旦水环境条件发生变化，在物理、化学和生物等一系列作用下，吸附在底泥颗粒上的污染物与孔隙水发生交换，底泥中的污染物会重新被释放出来，从而向底泥的上覆水体释放污染物质，引起水体中的有机物含量急速增加，底泥中的厌氧菌类、线虫大量繁殖，导致河湖水体黑臭。底泥又是底栖生物的主要生活场所和食物来源，其中的污染物质可直接或间接地对水生生物产生致毒、致害的作用，并通过生物富集、食物链放大等过程进一步影响陆地生物和人类。

1.2 环保清淤的重要性：

环保清淤疏浚清除河湖沉积物是降低河湖污染物负荷最有效、直接的措施。通过疏浚工程可以降低水体中大部份的重金属污染、总氮磷负荷，

使水体恢复自洁的能力。

1.3 环保清淤工具设备介绍：

1.3.1 宽30米、水深2米以上的河道，使用拆卸组装的小型清淤船

荷兰进口的清淤船，宽6.5米，全长26米；



1.3.2 超小型清淤船（30米宽以下的河道）

清淤船、锚艇与400mm口径的输泥管；



1.3.3 迷你清淤船（10米宽以下的河道）

美国制造的Dino 6清淤船，全船长仅5米、宽2.5米、操作挖深约3米；



1.3.4 水上多功能船（水下垃圾清理）

芬兰制造水上多功能船，挖泥、抽泥均可；



1.3.5 水陆两用履带船

瑞士制造水陆两用履带船挖泥、抽泥均可；



1.3.6 吊挂式清淤泥浆泵与接力泵



1.3.7 城区内脱水场地不容易取得的解决方案（接力泵）

在城区附近适当距离内选择空地作为脱水施工区，清淤船的泥浆输送距离有限，小型清淤船的排距约2000米，迷你清淤船的排距约1000米，吊挂式清淤泥浆泵船的排距约500米。超过这些排距，必须使用一部或数部接力泵设备，将泥浆输送到脱水施工区（距离在10公里或20公里外都可以）；



2 淤泥减量、干化处理工法说明

机械式污泥干化处理工法很多，中国疏浚环保公司自主研发“水环境治理一体化施工”的干化处理设备有三种不同的工法，包括：带滤机式工法、板框机式工法与管路搅拌机式工法的施工设备，分别说明如下：

2.1 带滤机式工法

2.1.1 整体工法说明：

- 清淤船疏浚抽取淤泥

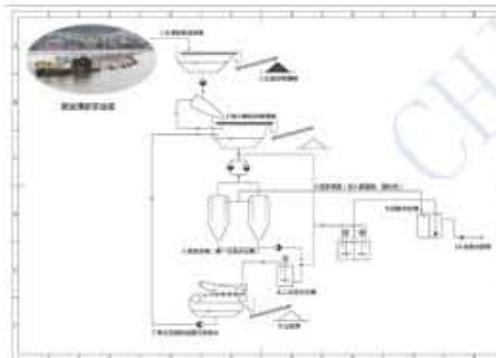
- 震动筛与气旋筛将垃圾杂物清除、细沙小颗粒杂物清除

- 经过静态管内混合器作泥浆调质（加入絮凝剂、固化剂）

- 进入泥水分离槽，泥浆浓缩
- 浓缩泥浆进入带式压滤机，开始污泥压滤脱水
- 出泥饼
- 回排水处理

带滤机式污泥压滤脱水工法流程

2.1.2 带滤机主要组件构造说明：带式压滤脱水机是



由上下两条张紧的滤带夹带着污泥层，从一连串按规律排列的缠压筒中呈 S 形弯曲经过，靠滤带本身的张力形成对污泥层的压榨力和剪切力，把污泥层中的毛细水挤压出来，获得含固量较高的泥饼，从而实现污泥脱水。

2.1.3 带式压滤机式工法的优点

- 一体化施工方式，全自动化设备、连续性操作。
- 移动式的脱水设备，可以用卡车运输到施工地点，机动性高。机械带滤式污泥脱水设备的脱水场地要求面积较小，制式设计，可以根据产能需要，多台连结使用。
- 淤泥前处理设备将垃圾、砂石、细沙和细泥有效的分离，以便资源回收再利用。
- 使用有机 / 无机混合的调质剂和絮凝剂，泥浆颗粒较易脱水，回流水更清澈、专利设计制造的管内静态混合器，使絮凝剂发挥最大的效果、调质处理后注入絮凝剂工法：使用最少量的絮凝剂，经济又有效率。不需使用高碱性的固化剂，施工后，不会改变回排水 / 脱水后泥饼的酸碱值。

- 压榨脱水辊轮直径比率大，5 组超重压辊子连续挤压脱水，脱水效果好，泥饼干度佳，生产能力大；使用双轴主动轮同步输出变速箱（带动超重压滤带），动力传动机构采用机械无级调速，调速范围大、高效节能；

- 设有四套可靠的反冲洗装置，单泵式滤带回洗设备，使用制程回收水清洗滤带，节省用水用电，保证滤带的脱水效果；

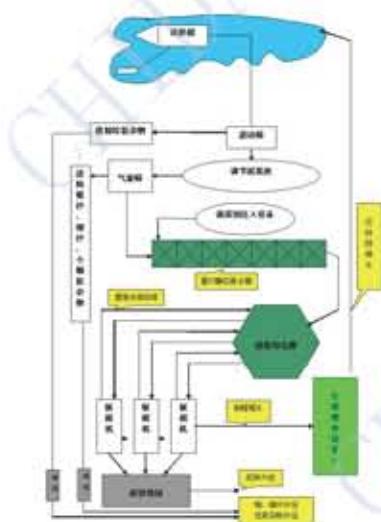
- 采用气动张紧和气动自动纠偏装置，操作稳定，保证滤带的安全正常运行；采用安全防护和全方位的紧急安全停车装置，操作安全可靠。

2.2 板框机式工法

2.2.1 整体工法说明：

- 清淤船（绞吸船）在湖区、河道疏浚抽取淤泥
- 泥浆进入除渣池，使用格栅机清除垃圾杂物
- 泥浆进入泥浆池（调节泥浆量）
- 小型泵船将泥浆打入搅拌池
- 加入固化剂、改性剂在搅拌池内搅拌均匀
- 经过二次格栅机将泥浆导入均化池
- 以泥浆泵将均化后的泥浆打入板框机开始压滤脱水
- 出泥饼
- 制程余水处理后回排入泥浆池

板框机式污泥压滤脱水工法



2.2.2 板框机设备主要组件：板框式压滤机主要由机架、止推板（固定滤板）、压紧板（活动滤板）、滤板和滤框、横梁（扁铁架）、过滤介质（滤布或滤纸等）、压紧装置、集液槽和控制系统装置等组成。

2.2.3 板框机主要组件构造说明：板框压滤机由交替排列的滤板和滤框构成一组滤室。滤板的表面有沟槽，其凸出部位用以支撑滤布。滤框和滤板的边角上有通孔，组装后构成完整的通道，能通入悬浮液、洗涤水和引出滤液。板、框两侧各有把手支托在横梁上，由压紧装置压紧板、框。板、框之间的滤布起密封垫片的作用。由供料泵将悬浮液压入滤室，在滤布上形成滤渣，直至充满滤室。滤液

穿过滤布并沿滤板沟槽流至板框边角通道，集中排出。过滤完毕，可通入洗涤水洗涤滤渣。洗涤后，有时还通入压缩空气，除去剩余的洗涤液。随后打开压滤机卸除滤渣，清洗滤布，重新压紧板、框，开始下一工作循环。

2.2.4 板框机工作原理：板框机用于固体和液体的分离。板框压滤脱水机的脱水过程为间断式运行，正常操作时每批次脱水时间约 40 分钟左右，通常装有滤网冲洗设备，每次脱水后可以将滤布冲洗干净后再进行下一次脱水作业。使用板框机必须在操作时加入固化剂，以加速脱水时间，减少污泥贴粘滤网，同时增加泥饼含固率。固化剂的添加量约在 8-15% 间，泥饼的干度佳。

2.2.5 与其它固液分离设备相比，板框机过滤后的泥饼有更高的含固率和优良的分离效果。固液分离的基本原理是：混合液流经过滤介质（滤布），固体停留在滤布上，并逐渐在滤布上堆积形成过滤泥饼。而滤液部分则渗透过滤布，成为不含固体的清液。随着过滤过程的进行，滤饼过滤开始，泥饼厚度逐渐增加，过滤阻力加大。过滤时间越长，分离效率越高。

2.2.6 优点：板框式压滤机有优良的泥水分离效果，产生高含固率的泥饼。

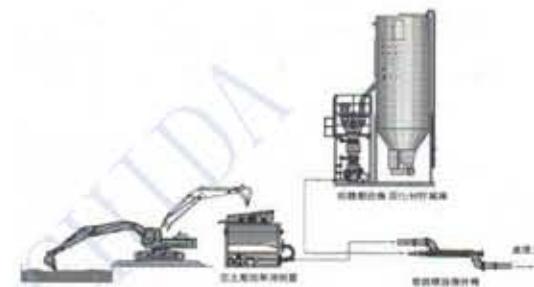
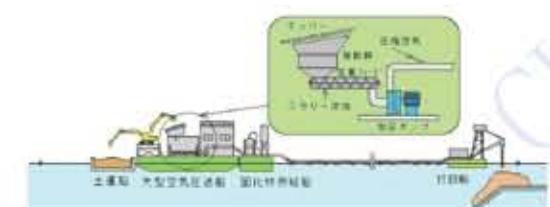
2.2.7 缺点：无法连续式操作，污泥必须使用固化剂调质，产出的泥饼与回排水酸碱值呈高碱性，容易造成水环境二次污染，也减少了泥饼资源化的选项。

2.3 管路搅拌机式工法

2.3.1 整体工法施工流程说明：

- 环保清淤船抽取淤泥、
- 清除杂物
- 泥浆进入调泥桶（均化槽）
- 加入泥浆调质剂
- 泥浆进入管路搅拌机
- 高压喷射加入固化助剂
- 出泥

管路搅拌机式固化工法流程，疏浚淤泥直接资源化利用



2.3.2 污水处理设备说明

深处理淤泥干化施工过程中产生的污水，使回排水水质达到环保要求标准。

可以作为污水就地处理与弃路治理的工法（中水处理设备）。

适用于短期内无法实现截污纳管的污水排放口河道区段，以及无法替换或补充水源的黑臭水体，通过选用这种污水处理装置，对污水和黑臭水体进行就地分散处理，高效去除水体中的污染物。这个也可用于突发性水体黑臭事件的应急处理。

处理技术要点：

是一种临时性污水处理的装置，可移动式设备，占地面积小，简便易行，运行成本低；施工方式：从河道污染最严重的区段（或污水排放口附近）抽取污水，经过本设备的处理（采用物理、化学与生化处理方法），快速去除水中的污染物；污水净化后，排放至河道上游区段，实现水体的净化和循环流动。

整体工法说明：（上清水排出后，视需要可以再作深度处理）





3 污泥无害化、资源化处置

河湖库塘清淤，主要有三种施工方式：抓斗式挖泥、水力冲挖和绞吸式（或螺旋式）挖泥。但不管用哪种方式，清淤出来的这些淤泥含水量非常高，成分复杂，处理耗时长、处置成本高，是全国性的环保难题。

3.1 处理方式：

3.1.1 传统的处理方式，农村小河小塘里清出的淤泥，肥分高，农户争相配取，污泥大多直接回填到附近农田，这也是过去几十年农村最常用的方式。

3.1.2 如今，大部分淤泥受到重金属的污染，或者含有大量生活垃圾、建筑废弃物，农户不肯接受污泥回田；在沿海的河湖库塘，清除出来的淤泥，有不少被非法运至海上倾倒。受潮汐影响时，部分淤泥常常被冲回内河，影响航道安全。城区里的河道，淤泥往往污染较大，通常会就近寻找闲置的、已经完成征收的土地堆放，等自然干化后，再往外清运，用于填埋。这些处理方式都有二次污染的风险。

3.1.3 处理工法种类：

根据工艺性质可以分为（1）污泥稀释处理方式、（2）电磁/电热吸附处理方式、（3）化学药剂处理方式和（4）生物处理方式等四大类；仅介绍两种比较常用的处理技术：

（1）污泥稀释处理工法

常见的污泥稀释技术主要包括客土、换土和深耕翻土等措施。通过客土、换土和深耕翻土与污泥混合，可以降低土壤中重金属的含量，减少重金属对土壤与植物系统产生的毒害。

（2）化学药剂处理工法

稳定化/固化技术：在污泥中加入化学添加剂，通过氧化还原、吸附或共沉淀作用，改变污泥中重金属的理化性质与存在形态，从而降低重金属的有效性和迁移性，是一种缓解污染物对生物毒害的有效方法。另外，污泥中的毒害重金属被稳定化/固化后，可减少污染物向地表土壤深层和地下水迁移。

（3）其他：除了上述的处理方式外，还有污泥混烧、

污泥发电、烧砖、制造陶粒等。

污泥处理技术的比较：

环保清淤的淤泥，量大面广、成分复杂，在处理技术方案比选中，应充分考虑处理工法的效益，包括技术可行性、时效性、用途选项和处理费用的经济性等多种因素，然后综合各项处理工法的可靠性、药剂的安全性、施工成本的经济性、与施工高效益性，“稳定化/固化的污泥处理技术”不失为一项长久性处理重金属污染污泥的可行技术。

稳定化和固化具有不同的含义：稳定化是指从污染物的有效性出发，通过形态转化，将污染物转化为不易溶解、迁移能力或毒性更小的形式来实现无害化，以降低其对生态系统的危害风险。固化指将污染物囊封入惰性基材中，或在污染物外面加上低渗透性材料，通过减少污染物暴露的淋滤面积达到限制污染物迁移的目的。

世界大多数发达国家普遍使用稳定化和固化的工法处理污泥。

4 XGBR 污泥稳定剂与固化剂处理技术

使用多功能XGBR污泥稳定剂与固化剂可以同时达到污泥减量、污泥无害化与资源化的目的：

4.1 工艺说明：XGBR 固化剂由碱性金属、硼族元素、碳族元素、氮族元素、卤族元素等各种元素化合而成的粉态无机性特殊固化剂。当泥土或废弃物骨材添加固化剂和水泥或煤渣时，固化剂的元素和废弃物中的各种元素起化学作用，相互加强吸着力，促进凝结而提早固体化，产生元素结合、共生结合、移位结合、各元素变化中产生分解、移位、共生等作用，使有害物被包裹而成为无害化的作用，消除毒性的溶出。同时，不受酸、碱、紫外线、高、低温等侵蚀，极具耐火性、耐水性和耐久性。



4.2 适用范围：

- 所有固体废弃物，包括废土、工地废弃物、污泥、

淤泥、家居生活废弃物、湖泊、河道和水库疏浚的沉淀污泥、含重金属废弃物等。

- 含水量90~95%之污泥可处理，有脱臭作用，不受酸、碱、紫外线、温度的侵蚀，富有耐水性、耐火性和耐久性，凝固后和预拌混凝土的制品强度相当。

- 污泥等资源再生的产品，使用范围广，处理再利用的作业过程、需要设备简单，不会产生第二次污染；产品可以制造大型砖块、铺设道路、挡土墙、护岸、消波块、斜坡、掩埋低洼地、填海造陆，也适用于泥土为主的海绵城市建筑材料，例如行人步道、产业道路、庭院、广场、停车场、篮球场、网球场等。

4.3 施工方法与管路搅拌机式固化工法相似，在广东、台湾、日本与美国都有实际工程案例（请参考3.4 管路搅拌机式污泥处理工法）

5 工程施工实例：

5.1 武汉东湖（官桥湖）清淤工程 48万m³（带滤机式工法）



5.2 武汉南湖一期清淤工程 110万m³（带滤机式工法）



5.3 盐城市恒力桥清淤工程污泥脱水施工现场（带滤机式工法）



5.4 武汉南太子湖综合整治清淤工程 52万m³ 等工程项目（板框机式工法）



5.5 广州市污泥减量、无害化与资源化工程（管路搅拌机式固化工法）



5.6 台湾石门水库清淤工程实际施工案例（管路搅拌机式固化工法）



兴禹·疏浚之路

“立山积卑以不高，江河合水而尚大”，1999年6月“湖南兴禹建设有限公司”（以下简称“兴禹公司”）伴随着洞庭湖治理“百船计划”的契机应运而生，历经风雨洗礼和市场锻炼，从只有一艘挖泥船的施工队伍发展壮大成为注册资本金达10019万元，固定资产超过2亿元的湖南省大型施工企业。

目前，兴禹公司是湖南省内绞吸式挖泥船设备较完善、技术力量较雄厚的专业疏浚公司之一。公司拥有水利水电工程施工总承包贰级资质、河湖整治工程专业承包贰级资质，房屋建筑、市政公用、环保工程施工总承包三级资质。公司致力于洞庭湖等河湖整治、堵口复堤、堤防加固、洪道疏挖，以及“走出国门”承接柬埔寨Kompong Puoy水利灌溉系统建设工程等，形成了“立足湖南，面向全国，走向世界”

的经营新格局。回顾近二十年的发展历程，公司在水环境生态治理与保护领域的较为典型工程是：新疆乌拉泊水库清淤工程和湖南常德穿紫河清淤工程。

1 新疆乌拉泊水库清淤工程

该项目主要内容为：库底清淤461万立方米、库区砂砾（清理）167万立方米和在水库上游河道中修建1条拦淤坝等。乌拉泊水库始建于1959年，水库已进行了3次除险加固，但仍未摘除“病险水库”的帽子。乌拉泊水库库底淤泥平均厚度在8米左右，水库的一部分已变成死库容，而且因水力作用水库出水口淤泥淤积严重，城市供水受到影响。在此前进行的持续清淤中，都是挖掘机作业，清淤范围仅限水库边缘，深度不及两



肖乾
湖南兴禹建设有限公司
总经理

米。2008年10月，该工程正式开工。兴禹公司使用日清淤总能力达1.6万立方米的两艘专业清淤船、加上5艘辅助作业船舶，从乌拉泊水库的进水口与出水口一线，向水库中央进行清淤并延伸到对岸。2012年12月，乌拉泊水库清淤工程竣工。

其显著效果：一是库容增加570万立方米，不仅提高了水库输水泄洪功能，确保乌拉尔水库对下游城市的防洪作用，又改善了汛期低水位期间水库的供水水质。二是从水库清理出的淤泥经沉淀、晒干后用于改良荒地造出千亩良田，砂石转化为建筑材料，用于大型水库、灌溉区等工程建设。乌拉泊水库清淤工程实现了治水、清淤、变废为宝，经济与环保双赢、生态与宜居共存。

2 湖南常德穿紫河清淤工程

湖南常德穿紫河全长17.3公里，是一条全国少有、湖南独有的穿城河水系，地处市中心，河道窄、常年淤塞水位较浅，河道内桥梁众多通航能力有限。近年来水体污染严重，部分河段出现封堵堵死的现象。清淤工程2015年9月启动，主要任务为：穿紫河河道内的清淤与航道疏挖，并将淤泥固化处理后运至业主指定的弃土场。清淤河道总长约8.4km，清淤、疏挖并处理总工程量37.94万m³。

兴禹公司充分发挥自有设备——“水王”船身短、自重轻、吃水浅、可自航等优势，在河道内自由作业，解决了大型设备无法作业的难题。施工前，“水王”通过反铲对河道内块石、垃圾等无法绞吸作业的杂物的进行清理；在施工中，“水王”将河道中的淤泥输送至储泥池，絮凝沉淀后经水泵送入螺旋搅拌机，同时粉料供给机把粉料送进螺旋搅拌机，淤泥在搅拌机里和粉料充分搅拌。将浆化的淤泥通过管道搅拌机的搅拌使之与固

化剂充分拌和，让固化剂发挥固化作用而达到固化的目的，通过环保清淤车托运至堆放场地，解决了淤泥无法立即拖走的难题，保证了城市的干净整洁。同时，为了配合穿紫河两岸绿化风光带的建设，“水王”充分发挥了水上打桩的特点，承揽了泊船码头的打桩作业，解决了水上无法打桩作业的难题。

“水王”多功能环保船与絮凝沉淀技术配合清淤，成功疏通穿紫河水系，实现城市水系统良性循环。2016年10月，常德穿紫河全线贯通，穿紫河水系全面净化、美化、亮化，常德成为名副其实的“水安、水净、水亲、水流、水游、水城”。

3 结语

在水环境生态治理与保护市场的不断锤炼下，兴禹公司积累了经验培养了队伍。近二十年来，除以上两个较为典型的工程外还陆续了承接了汉寿县沅南垸新兴嘴河道疏浚及大堤除险加固综合整治工程和太阳谷水系河段污染治理及生态修复工程设计施工总承包项目。

随着疏浚技术的进步和社会的发展，疏浚业已成为中国经济建设和社会发展的重要行业，疏浚业务范围逐渐应用于能源开发、环保、旅游等多个领域。行业的发展受到多重因素的支撑和驱动，前景良好。随着社会经济发展和居民收入水平的提高，人们对生活品质要求越来越高，在旅游和休闲方面更加注重亲近自然，激活了人工岛吹填、岸滩养护、河流生态修复等方面的需求，更为重要的是全社会环保意识的逐渐增强，水环境生态治理与环保也将获得更加广阔的发展空间。

下一步，兴禹公司将努力结合自身优势、多方引进环保疏浚专业人才，积极拓展环保疏浚市场，力争抓住市场机遇，实现公司快速发展，向一流疏浚企业目标奋进！



易国文
湖南百舸疏浚股份有限公司
党委书记 董事长

百舸争流 奋楫者先

洞庭湖是我国第二大淡水湖，是长江中下游重要的调蓄湖泊，具有防洪、航运、生态保护等重要功能，是全国重要的工农业生产基地。洞庭湖治理与保护关键在堤防建设，挖泥船在洞庭湖水利建设中大有可为。

“百舸争流千帆竞，借海扬帆奋者先。”湖南百舸疏浚股份有限公司自1996年成立以来秉承“还江湖一片碧绿，创人水和谐家园”的使命，以水利环保疏浚、水利基础设施建设与投资为核心产业，业务涉及水利、市政、园林等多个领域，可承担防洪、灌溉、供水、治污、水环境治理等水利水电工程以及市政园林航道工程建设，为洞庭湖区水利建设做出了突出贡献。

2016年9月8日，公司与湖南路桥建设集团有限责任公司等10家企业组建成立

湖南省交通水利建设集团有限公司，注册资本100亿元，实现了资质全覆盖，拥有各类建设资质140多项；实现了业务全覆盖，涵盖水利、交通、市政等基础设施领域；实现了能力全集成，涉及科研设计、投资融资、建设管理、运营维护、装备物流等，从而形成“十指握成拳”的集成效应和综合实力。

湖南百舸疏浚股份有限公司应运洞庭湖而生。洞庭湖位于长江中游荆江河段南岸，天然湖泊面积约 2625 km^2 ，洪道面积 1418 km^2 ，为我国第二大淡水湖，是长江中下游重要的调蓄湖泊。洞庭湖汇集湘、资、沅、澧四水，承接荆江经松滋、太平、藕池三口分流，在城陵矶附近注入长江，四水及三口多年平均入湖水量为 1668亿 m^3 和 863亿 m^3 ，城陵矶入江水量为 3083亿 m^3 。洞庭湖通过三口分流和湖泊调蓄，对长江中游防洪发挥着十分重要的作用。洞庭湖是长江中下游水资源的重要来源，占长江大通站径流

量的32.2%，其独特的水文特征孕育了独特而丰富的生态系统，是流域生物多样性的重要宝库。洞庭湖区是全国最大的淡水湿地，其维护长江中游水域生态平衡、保证生态安全的地位不可替代。洞庭湖北枕长江一级开发轴线，两侧纵贯京广、京珠及武广高铁等交通大动脉，往东通江达海，往西湖川连渝，承东启西、北靠南联，堪称中部要塞，是长江经济带连接珠江经济带的重要纽带。洞庭湖经济生态区范围包括湖南省岳阳、常德、益阳、长沙、湘潭、株洲6市和湖北荆州市，总面积6.05万 km^2 。

环洞庭湖区是全国重要的工农业生产基地，社会经济地位十分重要。自新中国成立以来，经过几十年的治理，洞庭湖区基本形成了以堤防为基础，上游干支流水库、蓄滞洪区、平垸行洪、退田还湖等相配合的综合防洪工程体系以及蓄、引、提水源工程与排灌渠系组成的水资源综合利用体系，湖南省洞庭湖区现有一线防洪大堤长3740km，长江中下游干流沿岸设有24处蓄滞洪区，洞庭湖水系建有柘溪、五强溪等24座大型防洪骨干水库，总库容已达320亿 m^3 ，洞庭湖湖区航道总里程已超过3000km。

湖南百舸疏浚股份有限公司以“综合疏浚求效益，治理洞庭为人民”的社会担当，积极参与洞庭湖区堵口复堤、安全台建设、洪道疏挖、吹填压浸、填塘固基等工程项目420余项，在洞庭湖治理和湖南的防汛、抢险、救灾中发挥了巨大作用。洞庭湖治理的关键是堤防建设，湖南百舸疏浚股份有限公司在洞庭湖区利用绞吸式挖泥船吹填筑堤近3000km，吹填土方近1亿 m^3 。用挖泥船吹填堵口复堤速度快、质量好，深受湖区老百姓欢迎。洞庭湖区70年代就采用挖泥船进行填塘固基、吹填压浸施工，对于消除大堤内脚翻沙鼓水和管涌效果很好，80年代试用挖泥船直接吹筑大堤也很成功。1996年和1998年，洞庭湖湖区

发生了两次特大洪涝灾害，很多堤防溃口或出现险情。为了迅速堵口复堤，确保灾区人民群众生命财产的安全，湖南百舸疏浚股份有限公司从荷兰引进8艘绞吸式挖泥船，采取挖泥船直接从河湖水中吹填，开始了大规模的洞庭湖堤防和安全台建设。挖泥船直接修筑堤身的工效和质量是大家关心的问题，我们曾对湖南汉寿县马家铺大堤堵口工程进行开仓取土检测，从土样检验结果看，吹填土方密实，当含水量下降到29%，干容重达到 1.39kg/m^3 ，若完全渗水固结，含水量达到25~26%，干容重达到 1.5t/m^3 左右，比人工修筑更为均匀密实。根据土样有关数据，我们采用瑞典圆弧法，进行了马家铺堵口大堤边坡稳定计算，求得最危险圆弧的安全系数 $F_s=1.647$ ，属安全。多年事实证明，洞庭湖区所有用挖泥船吹填的堤段，没有出现渗漏、滑坡现象，而且施工成本仅为其他机械填筑的1/4，挖泥船吹填为洞庭湖区平垸行洪、退田还湖、移民建镇作出了巨大贡献。

随着三峡工程建成运行，洞庭湖与长江关系发生了新的变化，而且洞庭湖区经济社会快速发展，对洞庭湖的防洪、水资源、水环境也提出了新的更高的要求，加强洞庭湖治理与保护刻不容缓。根据洞庭湖区经济社会发展需求，即将启动的洞庭湖综合治理的重大工程主要包括以松滋口建闸为重点的沅澧垸等11个重点垸综合整治工程、四口水系综合整治工程、洞庭湖北部地区水资源配置工程、洞庭湖区河湖连通工程、洞庭湖水利综合枢纽工程等。廿年沉淀，厚积薄发，为了更好的融入洞庭湖治理与保护建设大局，湖南百舸人将进一步强化内功，在航道及水库等深水清淤、远距离输送技术和设备等方面做足功课，助力洞庭湖大水脉工程在水利保障、生态环境保护、航运功能提升等方面发挥巨大的综合效益，促进洞庭湖经济生态区建设，助推长江经济带及“一带一路”国家战略。

叶桂友
浙江省疏浚工程有限公司
总经理



湖泊污染内源治理技术综合应用与实例

湖泊污染治理措施中的内源治理是极其重要的。根据湖泊污染底泥的分布规律，必须采用高精度环保开挖技术实现精确开挖，才能保证内源治理的科学性、有效性。本文全面阐述了从污泥清除到污泥的资源化等方面的技术，介绍了成功应用的典型案例。最后提出了提高湖泊污染内源治理综合技术进一步提高的建议，呼吁加强湖泊保护和综合治理。

1 概述

湖泊是地球上重要的淡水蓄积库，地表上可利用的淡水资源 90% 都蓄积在湖泊里。因此湖泊与人类的生产、生活密切相关，具有很重要的社会、生态功能，如调水防洪、生产、生活水源地、水产养殖、观光旅游等。同时，一些湖泊还是生物多样性最为丰富的湿地生态系统的一部分，为各种生物提供了宝贵的栖息地。可以说湖泊对于人类与自然的和谐相处，实现社会可持续发展有着举足轻重的作用。

然而，近 30 年来，随着我国经济的快

速发展，对湖泊资源的开发、利用规模和速度都大大加强，影响了湖泊的自然进化过程，对湖泊生态系统造成严重的破坏。因此，治理湖泊内源污染，已经成为维护湖泊健康生命的紧迫课题。正如日本《湖泊环境调查指南》所述“在水浅而富营养的湖泊中，决定湖水状态的重要因子中不能无视底泥所起的作用”。我国的相关研究也表明，污染较严重的湖泊由于内源污染负荷的存在，即使在来自湖泊外部的污染源，如工农业废水、生活污水的排放得到有效控制的情况下，湖水的污染仍然得不到明显控制，主要原因为内源负荷的污染。由此可见，在湖泊治理中内源污染治理是必不可少的环节。

目前，常用的内源污染治理主要有原位处理和异位处理两种方式。事实上，由于原位处理技术本身的局限性，所以在实际应用中很少。而异位处理主要是利用环保疏浚（清淤）技术将湖泊内污染底泥彻底挖除，并转

移到湖泊外进行无害化、减量化、资源化综合处置，是现阶段湖泊内源污染治理的主要方式。

2 环保疏浚（清淤）与淤泥综合处置技术

2.1 湖泊内源污染治理的特点、难点

湖泊内源污染治理的目的是将湖泊内的污染底泥彻底清除，防止污染底泥有害物质在湖泊内持续释放进入水体，继续污染湖泊。

湖泊底泥一般分为 3 层，自上而下依次为污染层、过渡层、无污染层。国内外的研究表明，底泥中的总磷（TP）、总氮（TN）浓度呈现自上而下递减的分布形态。而对水质富营养化起直接作用的氨氮和可溶性磷浓度却呈现自上而下递增的分布。因此，进行湖泊污染底泥清淤时必须实现精确控制。欠挖自然达不到彻底清除污染底泥的目的；反之，超挖也可能打破原有湖水底质和水中氮、磷溶解平衡，或是过度挖走过渡层中沉水植物根系，破坏了原有的生态系统，引起不良生态反应，使水质更加恶化。

另一方面，湖泊底泥清淤过程必然产生大量的淤泥，对于这些淤泥如何处置，也是湖泊内源污染治理必须要重点考虑的。这类淤泥往往具有体量大、含水率高、压缩性高等特点，常规采用自然堆放固结的方式，占地多，历时长。如何实现淤泥的无害化、减量化、资源化是湖泊内源污染治理的新课题、新难点。

2.2 湖泊内源污染治理的环保疏浚（清淤）相关技术

近年来，我们承建了一大批湖泊的水环境治理项目。在实际施工过程中，针对湖泊内源污染治理的疏浚（清淤）施工技术作了有针对性的试验、研究，取得了突破性的进展并成功应用。

分体调遣术有效解决了相对封闭水体、高原湖泊、水库的设备进出场问题，而环保开挖与高精度控制技术及远距离输送、余水处理等都为湖泊污染内源治理提供了可靠的技术保证。

2.3 湖泊内源污染治理的淤泥综合处置相关技术

湖泊污染底泥经挖泥船清出湖泊后，一般处于高饱和欠固结状态，具有塑性指数大、含水量和孔隙比大、重度小、压缩性高等特点，属工程性质极差的淤泥，基本不具有承载力，不能直接用于工程建设，也无法满足其他如种植、填筑等要求。而且体积量巨大，占地面积很大，并有造成二次污染的风险。必须对淤泥进行无害化、减量化、资源化处置。

可根据工程实际情况和总体规划选用真空抽滤固结或机械脱水固结技术，实现淤泥的快速固结，实现淤泥的减量化、资源化利用。

3 湖泊内源污染治理技术综合应用典型案例

3.1 宁波市东钱湖综合治理工程

东钱湖位于浙江省宁波市市中心东南 15km，鄞东南平原的东南部，东临天童风景区和阿育王古刹，南接象山港与雁荡山，西达宁海温泉与奉化雪窦山风景区，北通北仑港和小港开发区，是浙江省第一大天然淡水湖泊，素有“西子风光，太湖气魄”之美誉。但长期以来受环湖 18 个村 2 万人口生活污水和生活垃圾外源污染，以及湖泊底泥内源污染的影响，水质总体上处于 IV—V 类状态。已呈中富营养化，且有恶化趋势。沿岸带及各溪流入湖口淤积严重，湖底淤浅，滩地显露。水体透明度低，生物群种单一，生态系统脆弱。

近几年来，先后对环湖企业和村庄进行了整体搬迁，建设了部分环湖排污管网，实施了渔民转产及林相改造等大量的生态环境治理工作，对改善东钱湖生态环境、遏制水质继续恶化起到了明显的作用。但要从根本上改善东钱湖水环境必须从生态的、系统的进行统筹规划和综合治理。因此，对东钱湖湖底淤泥进行清淤是必须的，否则即使对外来污染源全部进行截流也很难提高湖水水质。



东钱湖环保清淤

2009/07/09 13:58

东钱湖整治工程以改善和保护水生态环境、促进国家级生态旅游度假区建设为主要目标，工程拟分二期进行。目前东钱湖整治工程一期 01、02 标和陈野岙内湖清淤已实施完成，工程主要建设内容包括：（1）湖泊底泥环保清淤工程，清淤工程量约 205 万 m³；（2）陆上 1 号、2 号排泥场及水上排泥场淤泥真空固结工程，固结处理面积约 70 万 m²；（3）排泥场余水处理工程，采用“物理处理法”工艺进行余水处理，处理后余水 SS 满足小于 60 mg/L，其它指标满足污染综合排放一级标准要求；（4）淤泥干化后进行

堆岛试验。

3.1.1 主要施工技术应用

东钱湖与外界没有水路运输通道，环保绞吸清淤设备采用“设备分体调遣技术”进入施工作业区，施工中成功应用了“环保清淤技术”、“高精度控制技术”、“全封闭管道输送技术”、“余水处理技术”、“真空抽滤固结技术”、“机械脱水固化技术”。

(1) 采用海狸环保型绞吸式挖泥船配专用环保绞刀挖掘装置进行清淤，结合分区、分条、分层开挖法和低扰动吸淤法，严格控制清淤过程中的施工二次污染。

(2) 采用密封管道串接接力泵船组成全封闭管道输送系统，并结合潜管技术，既满足淤泥远距离输送的要求，又对周边环境影响极小，施工安全可靠。

(3) 采用 GPS 全球定位仪、回声测深仪等组成质量自动化监控系统，以确保清淤质量满足要求。

(4) 采用“低位真空抽滤固结”技术。利用东钱湖北侧的梅湖农场约 1000 亩低洼地作为淤泥堆放场地。在吹填完成后，通过真空预压法对排泥场内的吹填土进行加固处理，以加速吹填土的固结，满足了土地后期开发的要求。

(5) 采用“机械脱水法”技术进行堆岛试验。东钱湖堆岛试验主要利用陈野岙内湖疏浚的淤泥进机械脱水固化后形成的泥饼进行堆岛。经机械脱水形成的泥饼运至堆岛填筑区进行抛填，抛填时先利用泥饼抛填一道路，向沉淀池内进占抛填堆岛。本次试验主要目的是采集相关堆岛数据，从泥饼出机至堆岛结束做了泥饼含水率检测、压滤机尾水检测、泥饼浸泡试验、岛屿周围水质监测、沉降位移监测（测斜管理）、泥饼碾压试验等。

3.1.2 主要施工技术应用效果评价

东钱湖综合整治工程施工期间，综合应用了各种较为先进的清淤技术和淤泥处置技术。我们从清淤过程中的淤泥再次悬浮、扩散度、开挖精度控制、余水处理到淤泥后期处置等环节进行了跟踪分析。

(1) 底泥疏浚过程中，虽然采用了环保绞刀，有效控制了二次悬浮。但是当横移速度过快时，仍然会出现污染底泥逃逸现象，影响清淤效果。因此，施工过程应根据淤泥性状、分布、挖深等情况确定最经济有效的横移速度，确保污染底泥彻底清除。

(2) 全过程采用 GPS 和实时测深系统进行质量控制。平面控制基本没有出漏挖现象，开挖高程基本上能控制在

±5cm 以内。由于环保绞刀是采用大接触面薄层平贴开挖，清淤平整度很好。总体清淤质量较常规设备有了大幅度提高。

(3) 实测余水 SS 值最高 59mg/L，最低 36 mg/L，满足《污水综合排放标准》一级标准。

(4) 湖底淤泥采用真空抽滤的方式进行快速固结，在完成淤泥吹填后 6 个月内淤泥堆放场内实际承载力均在 50kpa 以上，满足后期开发建设需要。

(5) 陈野岙内湖疏浚淤泥采用机械脱水固结方式，固结后的泥饼最高含水率为 43.3%，最低为 23.1%；减量率为 48.6%。固结后的泥饼用于湖中填岛实验，未出现水化崩解、软化沉陷现象。

由此可见，东钱湖综合整治中采用的清淤技术能够有效清除湖内污染底泥，过程中未出现二次污染。尤其是对淤泥采用固结处理，真正实现了淤泥资源化利用。

3.2 湖州东部新城西山漾生态湿地景观整治工程

西山漾是太湖—南部水网平原生态走廊中的重要联系廊道，湖州一纵里带状组团型城市的绿肺。因常年未进行疏浚，造成河道淤泥堆积，形成现水质恶劣，沿岸植被稀少，严重的影响了吴兴区整体居住环境，极大降低了吴兴区环境质量。

为改善吴兴区整体环境质量，市政府下决心整治西山漾，对西山漾实施底泥清淤扩容，以满足吴兴区东部新城西山漾生态湿地景观整治工程综合开发建设及环境保护要求。

3.2.1 主要治理方法

在环保清淤前，先采用专用清障船进行湖区垃圾预清理及清障，最大程度清除清淤范围内的石块、钢丝、沉船、渔网、渔船等杂物，运输至业主指定地点处置。

然后采用环保绞吸式挖泥船对漾内底泥进行清淤扩容，清淤后的土方通过封闭式管道疏排至业主指定的排泥场，计划清淤面积 100.82 万 m²，清淤土方工程量 187.57 万 m³。清淤扩容后漾底高程达到 △-1.8m，漾内蓄水容量相比原常水位容量扩大了 8 倍。



淤泥堆场设置以西山漾景区规划建设为指导方向，既要解决淤泥堆放问题又不能影响景区建设。采用“真空抽滤软地基处理方案”进行吹填土加固处理。在 6 个月时间內使排泥场地基达到每平方 50kPa 的承载力指标，淤泥堆场经加固处理后用作景区绿化配套用地，推进了西山漾景区全面建设同时提高了土地利用效率。



4 湖泊污染内源治理几点建议

湖泊污染内源治理的效果于湖泊污染治理成败有着举足轻重的作用。经过多年的摸索和实践，我们在湖泊污染内源治理技术上取得突破性的进展，但同时我们也还有诸多方面需要提升和完善。

1、湖泊污染调查与前处理缺乏系统性技术指南、导则。建议制定相关技术导则，明确湖泊污染治理前期调查应该取得哪些数据，数据采集的质量要求，数据的使用评价规则等，并且能够用于指导后期治理方案设计、施工、监测等。

2、控污截源是前提，在进行湖泊污染内源治理的同时，必须将控污截源作为湖泊治理的前提。否则，将会不断产生新的内源污染，导致湖泊治理效果呈现短期改善，长期持续恶化的现象。

3、必须采用高精度清淤设备进行污染内源清除，由于底泥中总磷、总氮、氨氮和可溶性磷浓度的分布特性，欠挖或超挖都可能打破原有湖水底质和水中氮、磷溶解平衡，使底泥中氮、磷的释放速率成倍增加，从而引起疏浚后氮、磷浓度高于疏浚前的浓度，更甚之会改变水中氮、磷的比例，反而恶化湖泊水质。误以为是湖泊污染内源治理加剧了湖泊污染。

4、环保绞刀在很大程度上确保了污染底泥的再悬浮和二次污染，但从实际应用过程来看，应该在施工前结合污泥分布、泥泵功率、绞刀功率等因素，通过试验确定最经济有效的横移速度，在确保污泥彻底清除的同时，做到功效更高，成本最优。

5、加强清淤后的监测。日本湖泊学者坂本曾经研究指出：当湖水的总氮和总磷浓度的比值在 10 : 1 ~ 25 : 1 的范围时，藻类生长与氮和磷的浓度存在直线相关关系，此时，藻类就会疯狂繁殖，水体富营养化加剧。如发现水中总氮、总磷浓度比接近 10 : 1 ~ 25 : 1 时，需及时采取补救措施：

6、优化淤泥机械脱水固化技术。现有的淤泥机械脱水固化工艺在进行化学调理时，增加了大量钙离子，导致在干化土中碱性较高。虽然用于工程填筑或绿化土基层没有问题，但不能用于农业用途，限制了淤泥的资源化利用。

7、可以说我国经济建设高速发展的进程，也伴随着众多湖泊污染、功能退化、生态恶化的进程。建议在新经济发展的同时应加强对湖泊的保护，同时抓紧对已污染湖泊进行全面治理，恢复原有生态功能，实现绿色生态发展。

2017 年 4 月 1 日中共中央、国务院决定设立国家级新区——雄安新区。曾被称为“华北明珠”和“华北之肾”的白洋淀是雄安新区的核心水系。而据河北省环保厅于 2016 年 6 月公布的数据显示，白洋淀水质为劣 V 类，重度污染。2017 年 2 月河北省水质月报显示，白洋淀 4 个断面总体水质为 IV 类，水质问题突出。主要超标项目为总磷、高锰酸盐指数、氨氮等，属于有机污染类型，处于富营养状态，急需治理保护。

雄安新区对此已高度重视，截至 5 月 16 日，逾 2200 万立方米生态补水注入白洋淀，“碧水行动”进行实质性实施阶段。但是，参考污染湖泊治理的成功案例，我们建议对白洋淀进行全面综合治理，从控源截污、内源治理、生态修复多方面展开工作。把雄安新区建设成为绿色生态宜居新城区。真正实现雄安新区生态优美、蓝绿交织、清新明亮、水城共融。



赵东华
中交上海航道勘察设计研究院有限公司内河水环境所
执行所长 高级工程师

发挥传统优势，聚焦生态环境 打造雄安新区的中交“水名片”

本文以中交上航局一个传统疏浚企业的业务转型和综合发展所面临的机遇与挑战为切入点，介绍了中交上航局传统业务与转型业务“自然拥抱”的简要过程和开拓之路，列举了“高原明珠”大理洱海流域、“东方夏威夷”兴凯湖流域及“世界地质公园”五大连池流域的治理案例，并进行了经验总结。通过二十年流域水环境从局部走向综合治理的经验介绍，提出了“水土环境综合治理+洱海流域+生态水利+涉水开发”业务板块的核心发展方向。本文针对白洋淀流域的水环境治理要求，从水量与水资源平衡的水安全、水环境保护和修复的水生态及水文化元素挖掘的水景观三个纬度简单介绍了对雄安新区建设的重点构思，提出相关的治理思路和规划建设。

1一个疏浚企业的“自然转型”

我国近年来的高速发展，在取得经济领域重大成就的同时，日益严峻的环境问题已成为经济发展而付出的沉重代价，引起了全社会、国家及世界的广泛关注，治理环境的呼声十分强烈。近30年来，中国

水污染形势已从局部河段到流域、从单一污染到复合型污染、从地表水到地下水，以很快的速度扩展，危及水资源的可持续利用；水污染和水体富营养化等问题严重制约着中国经济的发展，水体中的藻类、细菌等威胁着饮用水的安全，水污染已经成为当前中国水危机中最严重、最紧迫的问题。

与应用科学技术及工程紧密相关的环境包括大气、水、土壤等领域

或对象，而其中的“水、土”无疑和疏浚产业息息相关。秉承“交融天下、建者无疆”企业精神的中交上航局，把“改革创新、转型升级”确立为十三五期发展总纲，奋力开启“再次创业”新征程。一直以来，中交上航局主营的航道整治、围堤吹填、地基处理及环保疏浚等业务均与“水、土”两个对象相关，从而顺其自然的进行了主营业务的“自然转型”及价值挖掘，将传统与转型实现自然拥抱，并踏上了中交上航局“涉水、土”环保转型业务的开拓之路。

回望走过的路，中交上航局在二十年前重点跟踪研究长江口深水航道治理工程之际，一支科研力量开始涉及水环境领域的探索研究，迈上了环保新领域、新市场的转型之路。如今，公司已形成以“河湖流域水环境综合治理、湖滨带（缓冲带）生态修复、城市黑臭河道整治与水质改善、环保疏浚与污染土处理处置”等为核心的业务板块，完成水环境相关规划、设计、施工、科研等项目百余个，涵盖华东、华中、西南、东北等多个省份，涉及太湖、滇池、洱海、抚仙湖、兴凯湖、五大连池等多个重点流域。

眺望前行的路，“水土环境综合治理+海绵流域+生态水利+涉水开发”板块的综合打造，将是中交上航局转型业务不断前行的核心方向。

2二十年流域治理的“系统心得”

在孕育了近四千年文明历史的“高原明珠”大理洱海流域，中交上航局从最初的湖滨带生态修复到入湖河口整治，再到入湖河道整治，最后形成“污染源系统控制+流域生态建设+湖内生态调控与防退化+流域水环境与水资源综合管理”的综合治理理念，开展“截污控源、清水产流、生态修复及湖泊保育”系统的流域综合治理工程，为“苍山不墨千秋画，洱海无弦万古琴”的苍洱自然美景构建健康的生态屏障。

在素有“东方夏威夷”之称的兴凯湖流域，中交上航局克服高寒地区生态修复、湖泊保护基础薄弱及东北地区可施工期短等生态治理难题，针对流域内最大污染物入湖河流穆棱河开展系统环境整治，大量恢复浅滩湿地、多塘湿地、河滨湿地、人工湿地等多种生态系统，减少入兴凯湖的污染物总量，成功形成了一套适应于东北地区且可推广的流域水污染防治系统方案。

在享誉“世界地质公园、世界生物圈保护区、国家

5A级旅游景区”等众多称号的五大连池流域，中交上航局兼顾环境、生态、景观、文化等多重功能要求，运用“生态管道”而非市政管道构建“湖岸缓冲带+生态截流沟+净化节点”的系统性的环湖截污生态防线，并将生态护岸和环保疏浚技术进行充分运用，为五大连池实现III类水质保护目标提交自信满满的答卷。

对比国际经验，从美国1933年成立的田纳西流域管理局（TVA）开始最早提出统一管理、系统治理、立法保障等系统性流域治理措施取得辉煌成就的案例，到英国政府针对供水和水污染问题在1973年议会通过水法，实施以流域为单元的综合性集中管理、开展流域性综合治理、实现流域水环境综合保护、促进流域经济和社会的繁荣发展等案例，均体现了水环境治理必须走流域化、综合性的系统整治路线，并包括全过程综合治理、制度建设、统一管理和监管保障等。

从湖滨带修复或内源环保清淤或岸坡生态修复等局部的、碎片化的整治走向流域性、全方位、多维度的综合治理；从最初的“污水治理”科学的延伸至“污水+雨水”全面整治；从形成“污水、洪水、涝水共治及流域生态与海绵共建”思维到保障“水资源”、“水安全”、“水生态”及“水景观”等多维目标的实现，不仅是中交上航局二十年实践探索的“系统心得”，更是公司未来参与涉水环境业务的核心理念。

3三纬度针对雄安新区水环境的“重点构思”

水环境治理是指开放性水域及流域的污染水治理，包括水污染防治、水生态修复、河道整治、污水处理、水源地保护、水量平衡等，其重要的对象是“污水”。城市建设中的海绵建设是指通过加强城市规划建设管理，充分发挥建筑、道路、绿地、水系等生态系统对雨水的吸纳、蓄渗和缓释作用，有效控制雨水径流，实现自然积存、自然渗透、自然净化的城市发展方式，其重要对象是“雨水”。

“污水”+“雨水”成为水环境综合治理的两个核心对象，放在白洋淀流域的水环境治理层面上，我们从“水安全”+“水生态”+“水景观”三个纬度简单介绍对雄安新区建设的“重点构思”如下：

3.1 水量与水资源平衡的“水安全”纬度

雄安新区被定义为京津冀协同发展背景下，承接非首都功能的绿色生态宜居新城区，雄安新区在缺水的冀中平原再造一座大城市，分析认为水资源的安全将成为新区建

设的关键内容，要基于整个流域管理的大尺度在整个产业的布局上把水资源安全放在第一位。

根据世界气象组织(WMO)和联合国教科文组织(UNESCO)的《INTERNATIONAL GLOSSARY OF HYDROLOGY》(国际水文学名词术语,第三版,2012年)中有关水资源的定义,水资源是指可开发利用或有可能被利用的水源,这个水源应具有足够的数量和合适的质量,并满足某一地方在一段时间内具体利用的需求。事关“千年大计、国家大事”的雄安新区由雄县、容城、安新三个河北省保定市辖县组成,三县环绕“华北明珠”白洋淀,其水域面积366平方公里,包括143个淀泊,3700条沟壕,平均蓄水量13.2亿立方米。白洋淀为华北平原的浅型湖泊,主要由人工筑堤形成蓄水功能,基本不具备多年调节能力。自1989年白洋淀干涸重新蓄水以来,白洋淀流域在自然因素、人为因素的共同作用下,多数年份濒临干涸危机。由于缺乏天然降水补给,流域内大量的处理后或未处理的生产生活废水成为白洋淀流域主要的水源;同时,在内流域调水仍不能满足生态需水的情况下,白洋淀流域实施的外流域调水入淀补水成为白洋淀流域重要的补给源。在暂不讨论地区工程性缺水的情况下,根据河北省环保厅历年发布的《河北省环境状况公报》显示,2011年白洋淀水质在IV类到劣V类之间,此后白洋淀水质一直持续在劣V类,只有2014年有6个监测断面水质在IV到V类之间,已出现了资源性和水质性双重缺水的现象。

建议在研究并解决水量与水资源平衡问题基础上,系统规划水源涵养、雨洪调蓄、生态调水、水源保护、截污控源、节水回用、节水灌溉等系列工程,开展“海绵流域”建设,并将“海绵流域”概念或规划方案纳入流域开发的统一规划,进行统一建设,将高效、节约、循环用水的节水型新区作为建设目标,从而确保水安全。

3.2 水环境保护和修复的“水生态”纬度

白洋淀区域的上游地处太行山的北段,历史上植被丰富,森林的覆盖率很高。到了二十世纪八十年代,太行山北段的森林覆盖率已经不足5%,即使加上疏林灌丛也计算在森林覆盖率内也只能达到11.3%。由于白洋淀流域上游森林资源的破坏,据测算水土流失比较严重的面积达到9600平方公里,占到整个白洋淀流域面积的30%。由于水土流失造成的白洋淀及其上游河道的淤积日渐严重,再加上气候干旱降雨量大减以及水利设施的修

建,使白洋淀的入淀水量锐减,生态平衡遭到严重的破坏,致使白洋淀水生生物在数量和种类上都发生了较大变化,白洋淀的自然生态系统逐步退化,正在向人工生态系统为主的方向转化。

河北省环境科学研究院和河北大学、河北农业大学等单位对白洋淀进行了大型水生植物资源对沼泽化的影响的研究,结果显示白洋淀大型水生植物的优势种是芦苇、五刺金鱼藻、篦齿眼子菜、茨菜、黑藻、光叶眼子菜等,除芦苇和部分具有饲草功能的沉水植物被资源化利用外,其余约近70万吨(鲜重)/年的水生植物留在水体中,其腐败、沉积的过程不但加重了白洋淀水体的富营养化,而且加速了白洋淀的沼泽化。

白洋淀作为雄安新区会呼吸的“肺”和会过滤的“肾”,是华北地区最大的淡水湖泊,进行白洋淀生态环境及其系统的保护和修复是一项重大的系统工程,应建立“流域污染负荷的消减(控源截污)+生态需水量保障(调水补水)+富营养化及沼泽化防治(修复治理)+环保清淤(扩容净淤)+生态修复及生境改善(综合调控)”的总体治理思路,开展全面的系统分析,从而分步并有序开展环淀区的退田还湖、淀内村落搬迁、引调水补给、入湖河道综合治理、湖滨带或湖堤生态岸线恢复、内源清淤、物理基底改善、水生动植物修复及生物调控等系统工程,不宜将上述生态修复的系统工程割裂成碎片化的专业分头实施,从而影响淀区水生态或水环境的系统建设目标,并造成整体方案缺乏科学性。

3.3 水文化元素挖掘的“水景观”纬度

中国自古以来就有“城有水则秀,居有水则灵”、“吉地不可无水”的说法。水体或水域不仅具有生态价值,作为一个造景要素,其空间、形态等蕴含着无穷的诗意、画意和情意,丰富了空间环境,给人美的享受和无限的遐想。

如何在雄安新区营建适于欣赏的水系整体风貌、文化和景观空间,提升水系景观的品质、定位与功能,将是水环境治理不可缺失的重要篇章。应在坚持生态优先、绿色发展的基础上,体现区域协同、城乡一体的理念,充分挖掘水文化元素,用世界眼光、国际标准及中国特色高点定位整个新区的总体规划,将白洋淀生态水域和域内交错的水网构建生态绿色的空间体系,打造蓝绿交织、清新明亮、水城共融的生态景观新区,打造一张雄安新区的特色“水名片”。



葛新兴

长江航道工程局有限责任公司

大江展宏图 改革再出发 ——长江航道60年疏浚整治历史回眸

长江是中华民族的母亲河,流经11个省市,横贯中华大地,推动流域经济社会发展,被誉为黄金水道。60余年来,长江航道人以百折不挠的进取精神和敢为人先的胆识勇气,披荆斩棘、奋勇前行,谱写了一曲曲战滩斗水、改造江河的壮丽诗篇。

(一)

历史上,长江航道急、弯、浅、险,维护手段简陋,管理方式单一,服务水平不高,船舶航行条件差,长江航运一直处于“看水行船,靠天吃饭”的原始状态。1957年3月1日,交通运输部长江航道局在武汉成立,被赋予的主要任务就是进行沿江航标维护管理,航道疏浚和整治工程,保持航道标准尺度,改善船舶航行条件。20世纪50年代,随着航道专业整治机构的建立,“海鹰号”(吸扬1号)挖泥船首进川江,揭开了川江大规模整治的序幕。长江航道人创新挖泥施工方法,先后整治泄滩、方滩、青滩等103处险滩。1959年9月1日,长江宣

昌至重庆上下水全面夜航,终于结束了川江无夜航的历史,这一时期,长江中下游重点河段通航条件也逐步改善,毛泽东主席等党和国家领导人多次安全无虞地乘船视察长江,称赞航道人是“无名英雄”。

20世纪70年代,中国国际贸易有了较大的发展,但港口吞吐能力有限,周恩来总理作出了“加快海港建设,三年改变面貌”的指示。沿海及长江各大港口加快建设步伐,为长江航道疏浚船舶建造带来了历史机遇。1973年10月,长江航道第一艘自航耙吸式挖泥船“航浚1号”在上海出厂,此后4年,通过从荷兰等国引进及国内建造,先后有15艘绞吸式、耙吸式、链斗式和抓斗式挖泥船成为长江航道疏浚家族成员,长江航道疏浚能力和疏浚队伍得到了迅速壮大。自1975年开始,长江航道工程队伍除了完成长江干线疏浚、整治等任务外,也陆续承接一些建设单位的委托工程,如开挖横穿江底的电缆沟、天然气管沟,开凿泵站取水井、人防设施、地下储油罐,吹填加固中下游重点堤防,支援



大连机场项目

长江一些支流进行疏浚等，疏浚、吹填承揽工程的收入逐渐成为长江航道财务收入的主要来源之一。

从新中国的诞生，到20世纪70年代末期，是当代长江航运恢复发展、曲折发展的历史阶段。川江航道职工“特别能吃苦、特别能战斗、特别能奉献”的“三特”精神，“无名英雄”的光辉形象都成为航道职工的优良文化传承，长江航道人在十分艰苦的条件下，发扬燃烧自己、照亮别人的“航标灯精神”，设标点灯，战滩斗水，打通了无数梗阻险滩，使长江航道逐渐摆脱历史上的天然落后状态，为长江航运蓄势待发不断奠定良好基础。1978年，一部以长江航标工人的真实工作、生活背景为原型拍摄的电影《等到满山红叶时》曾风靡全国，展现了航道工人热爱生活、护航保畅的高尚情操和崇高形象。

（二）

改革开放春满园。80年代以后，长江航道在“一业为主，多种经营”方针指导下，既保证长江航道畅通，又积极参与市场竞争，走出长江，走向沿海，涉足海外。1982年7

月18日，长江云阳县境内发生山体滑坡严重自然灾害，长江面临断航危险，国务院成立“长江鸡扒子滑坡整治工程领导小组”，长江航道600多名干部职工全力投入应急抢险，奋战四载，消除绞滩恢复正常通航，打赢了一场漂亮的通航保卫战。1984年，长江航道局承接福州马尾经济开发区吹填造地工程，打响了进军南方沿海疏浚市场的第一炮。工程历时13个月，提前67天完成吹填土方量8410000立方米，造地1.97平方千米，因工期短、功效高、质量优、信誉好受到国务院特区办公室表扬，参战职工被当地政府授予“支援福州经济建设的第一支好队伍”。到了80年代末，长江航道工程队伍已经在全国19个省、31个大中小城市、9个县、2个特区、10条江、4条河、2个湖泊和国内外5个沿海港口承接近400项次疏浚、吹填任务，此外，还承担了中东巴林国吹填造地等海外工程。长江航道人发扬艰苦奋斗、无私奉献的精神，北上渤海，经受冰雪严寒的考验，南下南海，投身狂风巨浪的洗礼，绵绵海岸留有他们艰难跋涉的足迹，滚滚波涛映下他们奋斗拼搏的身影。

90年代，交通部作出了对全国水运体制深化改革的决定，长江航道打破传统体制束缚，推进内部“营养分管”改革。长江航道按照“统筹规划、远近结合、突出重点、分期实施”的建设原则，有重点、有步骤地实施了航道整治工程，“九五”期以长江中游界牌水道治理工程为标志，拉开了长江航道系统治理的序幕，长江界牌河段素有长江中游“瓶子口”航道之称，枯水期极易发生碍航，为彻底改善该水道航行条件，1993年经国家批准由交通部、水利部会同湖北、湖南两省联合实施界牌航道综合整治工程，总投资近亿元，经过6个春秋的艰苦努力，1999年竣工，界牌航道治理工程首开长沙沙质河床治理先河，创造的新施工工艺，成为长江中下游航道沙质河床治理的核心技术，工程新材料、新工艺、新结构、新技术后来被广泛推广应用到长江口及其他长江航道整治工程。

（三）

2001年，中国社会跨入深化改革，扩大开放，全面建设小康社会的新纪元。交通部委托长江航道局编制《长江

干线航道发展规划》，提出了“深下游、畅中游、延上游、通支流”的建设思路，国务院四部委联合编制《长江干线航道总体规划纲要》，长江航道建设上升为国家战略，掀起了航道整治高潮。上游对重庆至水富之间河段分段实施三级航道建设工程，将优良航道进一步向上游延伸，在长江中游尤其是荆江河段，实施了长江中游荆江河段航道系统整治工程，成为我国平原航道整治的里程碑，在长江下游继续推进深水航道建设，使深水航道不断向上延伸。随着长江干线部分碍航河段得到初步整治，长江航道局通过充分利用整治成果，进一步挖掘自然水深潜力，加强疏浚维护力度，先后30多次分时分段提高上中下游航道尺度，长江干线率先在全国内河实现了高等级航道的全线贯通，提前5年完成2020年航道建设规划目标。

“十一五”期是长江航道建设事业大繁荣的黄金时期，亦是长江航道工程经营大发展的巅峰时期。航道工程人为实现“做大做强，打造一流水工队伍”的战略目标，适应沿海港口大型化、航道深水化的需求，通过多种渠道筹



长江航道局承建的长江中游瓦口子—马家咀航道整治工程

措资金，相继开发建造了一批具有导航、测量、控制、动力等先进前沿装备的疏浚工程船舶，同时实施对老旧船舶设备的技术改造，实行工程装备的升级武装，为参与各类重大工程和一些特殊工程提供了强有力的设备保障，提升了长江航道局纵横市场的核心竞争力。航道工程人牢记发展第一要务，驰骋江海，频频出击国内外工程市场，向全社会展示了一流的实力，提供了一流的服务，创造了一流的业绩，先后参与厦门环岛路工程、唐山曹妃甸钢铁围海造地工程、重庆寸滩码头工程、上海浦东机场建设工程，全局共承接并完成全国内河、沿海、国际市场工程项目1000多个，长江航道局被评为“全国水运工程建设优秀施工企业。”

长江航道疏浚工程队伍，几十年来，经过市场竞争的风雨历练，茁壮成长。他们以保证长江航道畅通为天职，以服务国内、国际港口建设，繁荣地方经济为己任，一步一个脚印，朝着打造国内最具有竞争力的疏浚水工队伍的宏伟目标坚定不移地迈进。伟大的事业催生了伟大的精神，奔腾的长江孕育了“绿色航道、畅通服务”的行业文化，壮丽的征程凝炼出了“团结、诚信、奉献、卓越”的航道精神。无私的奉献浇灌出了璀璨绚烂的文明之花，无名英雄郑兴高、航标灯王郑启湘激励着一代代长江航道人披荆斩棘、奋勇前行，彰显了长江航道人克难奋进、勇创一流的时代风貌，长江航道局连续四次蝉联“全国文明单位”殊荣。

（四）

党的十八届三中全会作出了全面深化改革的决定，交通运输部于2016年5月发出了深化长江航运行政管理体制改革创新的动员令，这次改革的主要任务是对长江航道管理体制实施政事企分开，5月12日，“长江航道工程局有限责任公司（筹）”在武汉挂牌成立。部党组和部领导先后对企业提出了建立现代企业制度，全面提高企业经济效益和“立足长江市场、扩大沿海市场、稳步走向海外”等重要指示。2017年2月20日，长江航道工程局有限责任公司（筹）在武汉召开了2017年工作会。会上，长江航道局局长兼公司筹备组组长付绪银作了题为《坚定发展信心 抢抓黄金机遇 打造精品企业》的讲话，他肯定了公司转企改制以来取得的成绩，分析公司面临的发展形势，明确指出要抓住“十三五”期水运建设发展机遇，统筹好各类资源，筑牢基础，争取市场份额，不断壮大航道建设和维护工作，

同时要积极拓展资质门类、提升资质等级，努力建立涵盖广泛、门类齐全的资质体系，扩大经营范围，改善业务结构，大幅拓宽融资渠道，增强企业的实力。长江航道工程局有限责任公司下一步将按照遵循市场经济规律、有利于企业发展壮大的原则，抓好制度体系、运行机制和流程体系建设，全面深化人才培养和劳动用工制度改革、薪酬分配制度改革、经营管理模式改革、项目管理改革、考评制度改革、深化企业核心资源管理模式改革和深化企业创新体系建设等。重点要开展市场经营业务、成本管理业务等业务流程体系建设，把提高经济效益作为当前的首要任务和长远的根本任务，综合施策、一抓到底。2017年将抓好三大战略的落实：首先是实施规划引领战略，认真谋划和制订企业的中、长期发展规划，明确企业的发展目标，规划企业发展的路径，科学确定各项核心指标，并提出落实目标的措施，使企业在自营比例、劳动生产率、资金周转率、现金流、净利润率等关键指标上，大幅缩小与国内龙头企业的差距，努力打造精品企业；二是实施组织发展战略，母公司定位发展成为企业的管理中心、资金中心、利润中心，主要负责制订和实施企业发展战略，国有资产保值增值，统筹协调经营资源，负责重大事项的决策，子公司高管的管理，核心设备、人才和资金管理，对子公司的考核等，子公司主要负责本单位国有资产保值增值，抓好项目管理，提高员工获得感，权限内的各项决策事项，享有相应的利润分配权等；三是实施人才强企战略，进一步打破体制机制壁垒，结合劳动用工制度改革，全面完善人才的选、用、留、育、管措施，让想干事的人有机会、能干事的人有平台、干成事的人有地位，加快引进和培养一批高级管理人员，加强专业技术人才队伍建设，重视技能人才培养，加强一般员工的教育锻炼，建立人才容错机制等，形成企业的持续竞争力。贯彻落实全面从严治党要求，夯实企业发展的政治和组织保障，努力打造精品企业。展望未来，付绪银满怀信心勉励大家：“我愿与全体员工一道，戮力同心，艰苦奋斗，努力把长江航道工程局有限责任公司打造成精品企业，为广大员工创造更加美好的幸福生活！”

潮起两岸阔，大江起宏图！长江航道局正以实施国家战略为使命，以“服务长江水运、服务沿江经济、服务流域百姓”为己任，秉承“无名英雄”的崇高品质，紧跟时代前行的滚滚浪潮，向着长江航道现代化的美好明天奋勇迈进！

为长江航运“壮腰” ——荆江航道整治工程回眸

长江航道工程局有限责任公司



“万里长江，险在荆江”，“浅”也在荆江。荆江河段上起枝城、下至城陵矶，全长347.2公里。该区间航道滩多水浅、演变剧烈，重点碍航浅滩17处，历来是长江航运的“瓶颈”。建国后近50年时间里，荆江河段枯水期只能维护2.9米的航道水深。

为了治理好荆江航道，近50年来，长江航道局针对该河段的地质地貌、水沙特点、演变规律，进行了大量的观测、分析与研究，取得了一大批科研成果。在实施了一系列控导工程的基础之上，2013年国家发改委、交通运输部先后批复了该项目的工可和初步设计，荆江河段系统治理正式拉开了序幕。中交第二航务工程局有限公司、长江武汉航道工程局、长江宜昌航道工程局等5家施工企业经过27个月的紧张施工，至2015年底，工程全面建成。当年12月25日，由交通运输部正式宣布投入使用。2017年3月工程竣工初步验收，4月通过正式竣工验收。

该工程位于长江中游荆江河段，上起昌门溪、下至熊家洲，整治河段全长280.5公里。主要对枝江—江口河段、太平口水道等9个河段、13个重点碍航浅滩进行治理；建设护滩（底）带34道，坝体6道，深槽护底带3道，高滩守护39.32公里，护岸加固20.58公里；配套建设航道整治工程建筑物示位标58座。工程建设标准为3.5m×150m×1000m，

实现由2000~3000吨驳船组成的6千至1万吨级船队昼夜通航。

1 注重全面系统管理，着重打造品质工程

按照“打造世界一流内河航道整治工程”目标，开展顶层设计，建立了“科研创新、安全维稳、生态环保、优质廉政、综合宣传及精神文明”六大机制，提出了“出成果、出效果、出人才”的要求。工程划分监理标和施工标，通过公开招标，选择施工企业和监理单位，招标全过程无投诉。为了打造“品质工程”，建设期间，创新技术管理手段，推行了“样板工程”建设，执行了“分级验收、层层负责”的质检制度，引进了水下三维声呐探测等新技术开展水下隐蔽工程全过程动态监测。交通运输部在质量安全综合督查中给予了“建设管理高水平、已完工程高质量”的“两高”评价。为了打造“本质安全工程”，工程投入充裕资金改善安全生产条件，创新了透水框架群抛等40余种安全生产施工工艺，开展了各类安全检查近200余次，组织了安全交底和培训6000余人次，应急演练68次。工程被交通运输部和国家安全总局联合授予“全国公路水运工程平安工地示范工程”。为了加强党风廉政和精神文明建设，项目管理团队严格执行“三重一大”决策制度，开展“3+1”优质廉政创建工作，强化文明创建活动，收到了良好成效。

荆江航道建设指挥部获湖北省“五一劳动奖状”，2名项目经理获湖北省“五一劳动奖章”、1个工区获湖北省“工人先锋号”。

2 注重科技创新引领，打造生态示范工程

该工程高度重视科技创新工作，投入专项科研经费，联合高等院校、科研机构开展科技创新工作，形成了生态护岸、促淤固滩等多个新工艺及新结构、新材料和以“固滩稳槽”为代表的长河段系统治理成套新技术。工程取得关键技术成果19项，成熟结构与工艺60余项，获国家级科技奖2项、省部级科技奖48项，专利及软件著作权40余项，出版专著5部。

荆江工程毗邻3处国家级自然保护区，5处“四大家鱼”产卵场，7处生活饮用水源保护区。工程始终贯彻“生态优先、绿色发展”的建设理念，实行顶层设计、严格执行了环境保护、环境监测及环保验收等各项措施。开工伊始，科学制定生态环保目标，提出“服务荆江、引领长江、示范全国”的生态航道工程建设总体目标，联合科研机构开展生态影响评价、委托高校、科研院所围绕生态建设理念、生态航道评价方法、绿色整治技术等方面进行专题研究，投入大量生态建设环境保护资金予以扶持。开展生态建设共抓大保护，同各保护区、水产部门大力实施生态补偿、开展增殖放流等工作，同时加强对补偿措施落实及补偿资金的监管；邀请环保专家、水生态专家对参建人员进行环保知识培训，提升参建人员环保意识、理论水平与环保措施的执行能力。强化监管，抓实生态监测和检测，在工程现场布设多个监测点，分别对水、声、气及增殖放流效果进行全面监测，实时掌握工程实施对生态环境的影响，并及时制定减缓、消除工程对环境影响措施。工程取得了良好的生态效益，形成了一整套生态航道建设关键技术，建设期间，修复大面积陆生、水生生态环境，国家一级保护动物江豚、麋鹿数量增加，工程被交通运输部列为“全国生态环保示范工程”。



大连机场临空产业园填海造地工程（二标段）

3 荆江航道整治工程的几点成功经验

一是适度超前谋划是确保工程顺利实施的关键举措。荆江工程点多线长面广、工程量大，有9个河段13个滩险、46个施工片区190个作业点，沉排抛石施工和管理人数多，大型专业沉排船和运输船舶几百艘。为组织好这一大型工程，项目团队提前半年组成建设管理机构并进场，开工前3个月全面建成8处大型预制场并投入生产，上述举措确保了工程有序均衡实施。

二是坚持动态管理是确保工程整治效果的有效手段。跟踪观测分析三峡蓄水后荆江河段河道冲淤变化演变规律和河势河床发展态势，通过现场踏勘、方案比选、专家咨询等优化设计方案组织召开专家咨询会，坚持动态管理，妥善处理施工期出现的新情况、新问题，确保了工程整治效果。

三是做好综合协调是确保工程有序推进的重要保障。在交通运输部、沿江省市政府正确领导，以及长航局大力支持下，海事、航道、公安共同构建了“大综治、大安全、大稳定”的外协机制：施工期间，长江海事现场办理了涉水施工许可证，保证了工程及时开工；长江航道积极调标设标缓解施工与通航矛盾；长航公安设立工地警务室保证了现场安全和谐，妥善化解了诸多矛盾，形成了合力建设黄金水道的良好氛围。

为巩固荆江工程建设成效，进一步提高荆江河段通过能力，我们要紧紧抓住“十三五”期的有利时机，加快推进荆江二期工程工可编制。重点做好洪评、环评、外协等工作，力争早日开工建设。在航道整治工程建设中，按照“生态优先、绿色发展”的理念，更多实施植物固滩、生态修复、环境再造等生态环保措施，实现长江干线航道建设生态化和绿色化在航道治理思路上从“以挖为主”向“整疏结合”转变，实现长江干线航道治理工程全寿命周期成本最低、效果最佳。在治理技术上从二维平面CAD设计向三维立体BIM设计转变，将BIM技术推广应用到航道设计、施工、管理、养护全过程，实现航道建管养数字化和智能化。



中部疏浚协会联合会知名学者 Sape Andries Miedema

Full name: Sape Andries Miedema

Position: Associate Professor Dredging Engineering

Organisation: Delft University of Technology

Background information such as; qualifications, current projects

Dr.ir. S.A. Miedema (November 8th 1955) obtained his M.Sc. degree in Mechanical Engineering with honours at the Delft University of Technology (DUT) in 1983. He obtained his Ph.D. degree on research into the basics of soil cutting in relation with ship motions, in 1987.

Now he is the educational director of offshore and dredging engineering in Delft University of Technology, associate professor of dredging engineering.

Dr.ir. S.A. Miedema teaches courses on soil mechanics and soil cutting, hopper sedimentation, mechatronics, applied thermodynamics, drive system design principles, mooring systems and mathematics. His research focuses on the mathematical modeling of dredging systems like, cutter suction dredges, hopper dredges, clamshell dredges, backhoe dredges and trenchers. Specifically the cutting of sand, clay and rock and slurry transport, on both books are written and published.

姓名：Sape Andries Miedema

职位：疏浚工程专业副教授

工作单位：代尔夫特理工大学

背景信息（例如资格及当前项目）：

Sape Andries Miedema 博士1955年11月8日出生，1983年在代尔夫特理工大学获得机械工程专业理学硕士学位，1987年凭借关于船舶运动的土壤切削基础研究获得博士学位。

目前，他担任代尔夫特理工大学近海及疏浚工程专业教务主任及疏浚工程副教授。

S.A. Miedema 博士在校教授下列课程：土壤力学和土壤切削、泥舱沉积、机电一体化、应用热力学、驱动系统设计原理、系泊系统及数学。他的科研主要侧重于疏浚系统数学建模，例如绞吸船、耙吸船、抓斗挖泥船、反铲挖泥船及挖沟机。S.A. Miedema 博士还撰写出版了《沙土、粘土及石块切挖》和《泥浆输送》两部著作。

Dr. ir. S. A. Miedema
荷兰代尔夫特理工大学
疏浚工程副教授
近海及疏浚工程专业教务主任



代尔夫特砂子、黏土、 岩石切削模型对切削过程的分类

切削机制综述

Hatanura 和 Chijiwa (1975), (1976a), (1976b), (1977a) and (1977b) 将土壤切削的破坏机制分为 3 类：直剪型 (Shear Type)，流变型 (Flow Type) 和撕裂型 (Tear Type)。流变型 (Flow Type) 和撕裂型 (Tear Type) 会发生在无内部摩擦力角的材料中，而直剪型 (Shear Type) 发生在诸如沙子这样有内部摩擦力角的材料中。

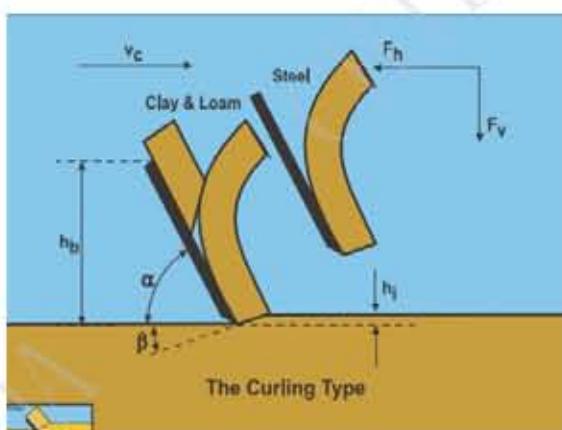


图 1：卷曲型 (Curling Type) 切削机制

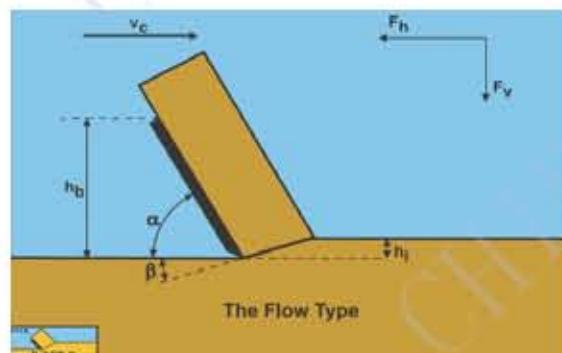


图 2：流变型 (Flow Type)

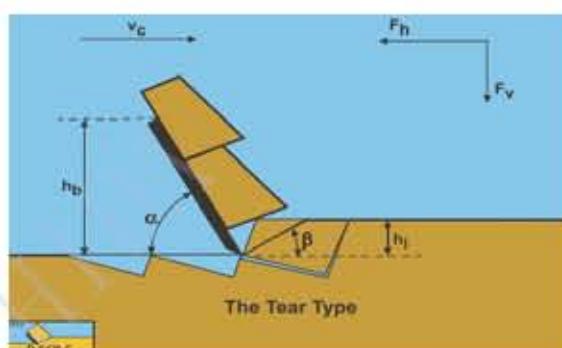


图 3：粘土中的撕裂型 (Tear Type) 切削机制

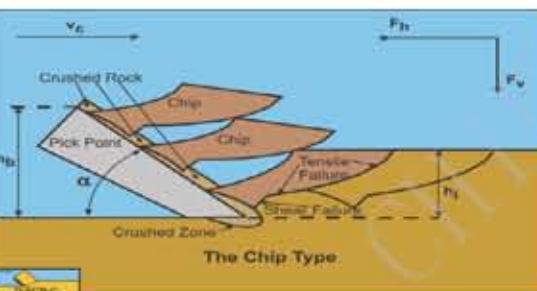


图 4：岩石中碎块型 (Chip Type) 切削机制

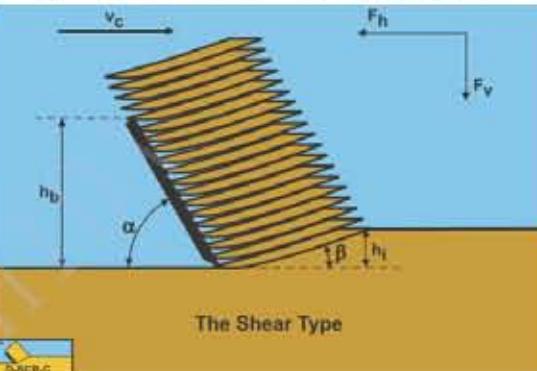


图 5：直剪型 (Shear Type)

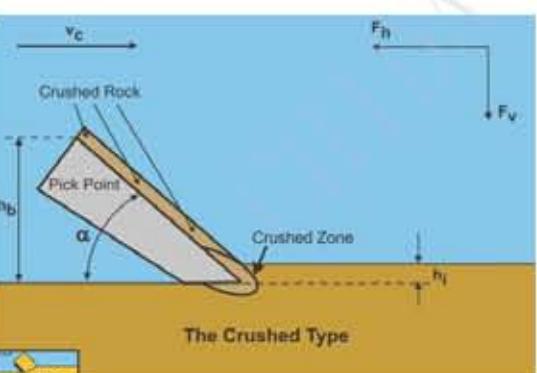


图 6 压碎型 (Crushed Type)

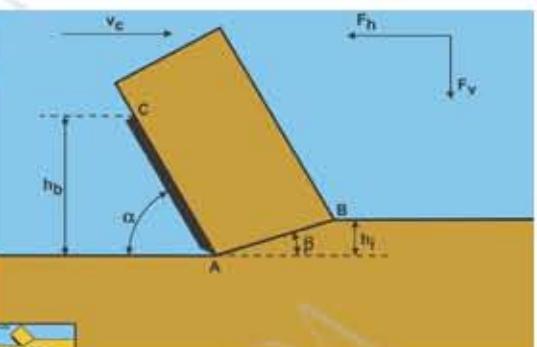


图 7：切削过程定义

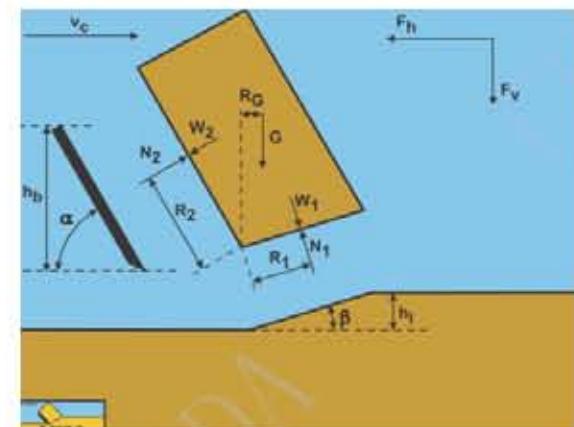


图 8：力矩的总体平衡

第一种破坏机制卷曲型 (Curling Type)，1992 年被 Miedema 划分出来，该型首见于金属切削中。尽管切片的卷曲型看起来是材料剪切流变的一种，但无论是卷曲型 (Curling Type) 还是流变型 (Flow Type) 的发生都要取决于多种条件。如果切刀上的附着力大于剪切面的法向力，通常会产生卷曲型 (Curling Type)。而卷曲型 (Curling Type) 是纯粹的卷曲还是切层褶曲则取决于各种参数给予切层的阻力。在岩层或石块的切削机制中，可能会产生另外两种切削机制，即击碎型 (Crushed Type) 和切片型 (Chip Type)。如果对很薄的岩层进行刮削或切削——比如在油气钻探中，就会发生击压碎型 (Crushed Type)。压碎型 (Crushed Type) 的机制类似于直剪型 (Shear Type)，只不过岩石物料必须首先粉碎。而碎块型 (Chip Type) 会发生在切削较厚的岩层或石块中，该类型类似于撕裂型 (Tear Type)。

图 1, 图 2, 图 3 展示了在切削粘土时，可能会发生卷曲型 (Curling Type)、流变型 (Flow Type) 和撕裂型 (Tear Type) 等切削机制；在切削沙时，可能会出现的直剪型 (Shear Type) 机制；在切削岩层或石块时，可能会产生的碎块型 (Chip Type)。当然，还有可能是几种类型同时出现。

为了预测在给定土质条件下，会发生何种类型的破坏机制，必须要推导出切削力的公式。推导的前提条件是：假设剪切面和切刀的应力恒定不变，且等于作用在表面上的平均应力。图 7 给出了关于切削过程中的一些定义。A-B

线被视为剪切面，而 A-C 线是切刀和土的接触面。而切刀角被定义为 α ，剪切角被定义为 β 。切刀以 V_c 的切削速度从左向右移动，切削层的厚度为 h_l ，切刀的垂直高度为 h_b 。切刀上的水平力 F_h 为正值，方向为从右向左，总是与切削速度 V_c 的方向相反。切刀上垂直方向的作用力 F_v 以向下为正。

剪切角 β 定义基于最小能原理。其假设是剪切破坏将发生在切削能最小的切削角度上。剪切功率是单位时间的切削能，因此，切削能同时还必须处在最低等级。

由于纵向力与切削速度垂直，因此纵向力对切削能无作用，而切削能等于水平切削力乘以切削速度。

$$P_c = F_h \cdot V_c \quad (3-1)$$

最小能原理是否正确，以及使用直破坏平面的方法是否正确，都已经通过实验证实。实验数据——通常是水平和纵向切力以及孔压的测量数值——显示，《代尔夫特砂子、黏土、岩石切削模型》书中的这种方法对切削力的预测十分准确。

流体型 (Flow Type) / 直剪型 (Shear Type) / 压碎型 (Crushed Type)

图 2 和图 5 分别是流体型 (Flow Type) 和直剪型 (Shear Type) 的切削过程，其中直剪型 (Shear Type) 的建模与流体型 (Flow Type) 类似，区别流体型 (Flow Type) 在于基于切削力被认为是恒力，切削过程假定连续剪切的，而直剪型 (Shear Type) 的力被认为是峰值力，切削过程被假定为脆性剪切。平均力可以通过将峰值力乘以 1/4 至 1/2 系数来确定。

卷曲型 (Curling Type)

在一些土壤中，可能会发生卷曲型 (Curling Type) 切削机制。这种情况发生的条件是：当切削层相对较薄时，以及切刀上有作用力——其等级取决于切刀高度，正如在气蚀切削过程中产生的附着力或孔隙水压力。在粘土和亚粘土的土质中，以及在高压条件下的岩石中，会发生这种情况。图 1 展示了这种卷曲型 (Curling Type)。现在的问题是：在土壤与切刀紧密接触的地方，切刀的有效高度 h_{bm} 是多少？为了解决这个问题，需要另一个等式。目前，只有一个可以使用的等式，即切削层上的力矩平衡等式。图 8 中所示为作用在切削层上的力矩。在粘土、亚粘土或是高压岩的情况下，重力的作用可以忽略不计。

撕裂型 (Tear Type) 和碎片型 (Chip Type)

切削过程中撕裂型 (Tear Type) 的破坏机制基于拉伸破坏。如果要发生这样的破坏机制，需要的条件是，有可能发生负应力。而在砂中的情形并非如此，因为在砂中，根据摩尔-库伦定律，包络线将穿过原点。对于没穿过原点的包络线来说，要求土壤象粘土或岩石那样的具有一定内聚力或剪应力。在粘土和岩石中，惯性力和重力通常可以忽略，而且孔隙水压力也不起作用。只有高压岩切削时，孔隙水压力才会发挥作用，但是不会发生撕裂型 (Tear Type) 破坏。这表明，对于撕裂型 (Tear Type) 和碎片型 (Chip Type)，要考虑具有内聚力、附着力、内部和外部摩擦力的岩土。

以上是六种不同的水下切削模式的简单介绍，详细的理论和数学推导可在《代尔夫特砂子、黏土、岩石切削模型》一书中查阅。

作者简介：

Sape Andries Miedema 博士 1955 年 11 月 8 日出生，1983 年在代尔夫特理工大学获得机械工程专业理学硕士学位，1987 年凭借关于船舶运动的土壤切削基础研究获得博士学位。



邹涛

荷兰代尔夫特理工大学
船舶与海洋工程系
在读博士研究生

浅谈气候变化对于船舶与海洋工程结构设计的影响

摘要：气候变化已经成为一种长期现象，正在影响我们社会的许多方面。船舶会受风浪等环境负荷的影响。在设计船舶时，所用到的设计环境的数据系过去测量所得，且设计者相信这些数据能代表未来的海洋状况，这就会忽视掉因气候变化而带来的影响。然而，船舶的整个生命周期（设计、制造和运营）可能会历时 40 多年，因此，有必要考虑气候变化对环境负荷的影响。人们已经对气候变化的影响做了大量科学的研究，但是，针对气候变化对船舶和海上结构造成影响的研究仍然有限。本文旨在就此问题撰写一份简短的文献综述，同时介绍气候变化对船舶环境负荷、极限强度和疲劳损伤的影响。

The Impact of Climate Change on the Structure Design of Ships

Abstract: Climate change is a long-term phenomenon. It is affecting many aspects of our society. Ships are subjected to environmental loadings, such as wind and waves. In the design of ships, design environmental data are measured in the past and believed to be representative of sea states in the future, ignoring the effect of climate change. However, the whole lifecycle of ships (design, manufacture and operation) may take more than 40 years. Therefore, it is necessary to consider the effect of climate change on environmental loadings. A large amount of scientific research has been conducted on the effect of climate change. But the research of climate change impact on ships and offshore structures is still limited. The aim of this paper is to make a short literature review. The studies of the climate change impact on environmental loadings, ultimate strength, and fatigue damage of ships are introduced.

近几十年来，气候变化以及引发的相关问题受到了社会的广泛关注。2015年底，包括中国在内的近200个国家在法国巴黎签订了《巴黎协定》(Paris Agreement)。巴黎协议旨在取代京都议定书，减少温室气体的排放，遏制全球气候变暖的趋势。目前，对于气候变化的相关研究也越来越受到人们的重视。然而，这类研究大多集中在对于气象气候、海平面高度以及农业的影响，对于船舶与海洋工程结构物的影响则往往被人忽略。

对于船舶与海洋结构物的设计，一项重要的要求便是保证安全性，即结构需要足够的强度以承受环境荷载的作用。与陆地相比，船舶等结构物的工作环境要恶劣得多。船舶和海洋结构物会长时间的受到风、浪、流的作用，同时一些特殊船型，比如挖泥船，在疏浚过程中还会产生更多的循环荷载。船舶等浮式结构的最大应力往往伴随着极端海况而产生。因此在设计阶段，人们就需要估计可能发生的极端海况的强度，然后保证与之对应的结构应力低于临界值。在结构设计阶段，极端海况的估计主要是依据对于相应海域观测资料的统计学分析并辅以一定的安全系数来进行的。然而，船舶等结构物的设计、建造周期加上使用寿命总共可以达到30年以上。使用过去的观测资料来预测未来30年的极端海况是否会产生不确定性影响呢？或者说气候变化在30年的时间里对于海洋环境荷载的影响是否值得关注呢？

地球气候系统可以看成是由大气、海洋、陆地与海冰四个子系统组成的，如图1。四个子系统除了有大气环流、海洋环流等内部运动外，彼此之间还会发生相互作用。^[1]例如，海洋表面波浪大多是由风荷载与海平面的相互作用引起的（无论是风浪还是涌浪）。风吹过海面，由于在各个位置风速的些许不同导致了各点风压的不同，从而使得海面出现了高低差，最终产生了波浪，也称之为风浪。风浪随风力传播，在脱离了风区后，进而转变成了涌浪。因此，气候变化对于海洋波浪荷载的影响主要是通过改变全球地表风场来实现的。气候系统的动力源来自于太阳辐射，随着温室气体的排放，温室效应影响了全球热量的分布情况，进而影响到了整个气候系统。而在其中，大气系统是对太阳辐射变化最敏感的子系

统。温室效应影响了大气流动，而地表风场的改变又影响到了海洋波浪的产生，这便是气候变化对于海洋波浪荷载的影响原理。

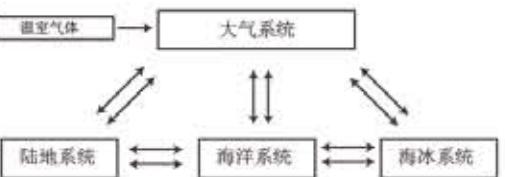


图1：全球气候系统结构简图

对于海洋环境荷载的变化，相关的研究主要是使用统计学方法进行分析。Young et al. 通过卫星观测记录了过去23年间（1985–2008）的全球风速和波高数据，分析结果表明过去23年间全球平均风速正在上升，平均有效波高也在缓慢增加，同时风速和有效波高的变化速率又受到海域位置的影响，一些海域的风速和波高甚至会出现下降的情况，见图2。^[2]从图2中可以看到，一些海域平均有效波高的年增长速度可以达到1%，这意味着30年的时间里，有效波高会增加30%。那么，有效波高的增加又会对船舶的设计产生什么样的影响呢？Bitner-Gregersen et al. 曾计算有效波高增加了0.5m、1.0m和2.0米后船体失效概率的变化。^[3]为了简化计算，该文作者只考虑了船体甲板在极限中垂状态下的屈曲情况。从图3中可以看到，在基准情况下（Deck Area Factor=1），有效波高增加2.0m使得年失效概率增长了2倍以上。

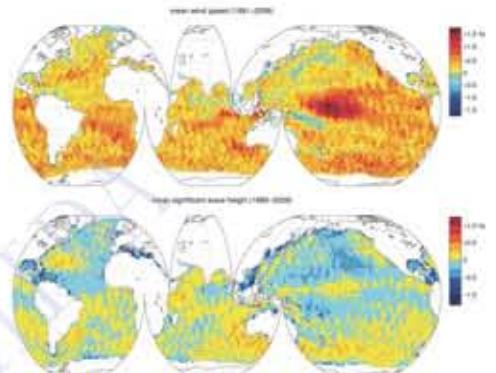


图2：全球平均风速和有效波高变化图。上图为风速，下图为波高。图中的颜色代表年变化率。^[2]

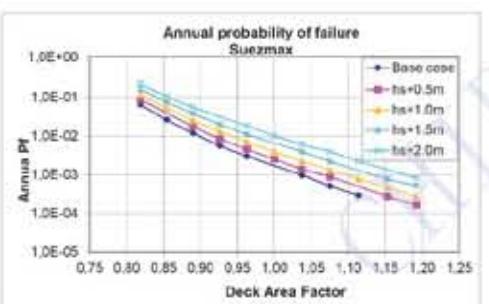


图3：船体结构年失效概率对比图。船型Suezmax。Deck Area Factor 可以看作是船体成比例放大或缩小的参数。^[3]

随着高强度钢材的广泛应用，船舶和海洋结构物的极限强度也越来越大，这使得另一种金属结构失效方式越发的重要起来，那便是疲劳损伤失效。金属结构在周期性循环荷载作用下，会出现疲劳裂纹，随着裂纹的扩展，最终会导致结构的整体破坏。相对于极限强度破坏，疲劳损伤是难以避免的。这是因为，船舶和海洋结构物的工作环境决定了它们将长期受到周期性波浪荷载的作用。即使波浪产生的应力小于材料的屈服强度，金属结构仍然可能出现疲劳损伤。而与极限强度分析不同的是，结构疲劳分析要求考虑船体结构会遇到的所有海况。当需要考虑气候变化对于疲劳损伤的影响时，这项要求必然大大提高了计算的难度和复杂性。由于船体结构的疲劳损伤与有效波高呈非线性的关系，人们无法简单的通过分析平均有效波高的变化来预测结构疲劳损伤的变化。因此，本文作者提出了一种考虑气候变化对船舶和海洋结构疲劳设计的影响的新方法，见图4。该方法的核心在于将气候系统模拟与海洋波浪模拟相互整合，通过规划未来温室气体的排放量来预测未来海洋波浪环境的变化，最终预测气候变化对于海洋结构物疲劳损伤的影响。



图4：气候变化对船舶和海洋结构疲劳分析的影响^[4]

全球气候系统的模拟需要建立气候模型，通过数值方法来模拟各子系统的物理过程（比如热量、动量和物质的交换）。早期的气候模型只包括大气模型，用来预报天气。现代气候模型已经发展到包括四个子系统（大气、海洋、陆地和海冰），不仅可以模拟各子系统自身的运动，还考虑到了各子系统间的相互作用。由于气候模型种类繁多，各国从事气候变化研究的工作者于2008年CMIP5会议上（the fifth phase of the Coupled Model Intercomparison Project）统一选用了数十种气候模型来进行以后的气候模拟研究。这些模型全部是依据能量和物质守恒定律设计而成，但是由于设计目的不同，各模型在具体设定上会有差异。数值波浪模型主要用来模拟波浪的产生、波浪间的相互作用、风与浪的相互作用、波浪的传播与消散（dissipation）。^[5]目前广泛使用的波浪模型有WAM、WaveWatch-III和SWAN。这些波浪模型由风场数据驱动，依据能量守恒定律设计，可以用来模拟各海域波浪谱的变化。

在未来几十年温室气体将会保持高排放量的前提下，本文作者曾使用CMCC-CM气候模型模拟预测未来几十年北海油田的风场情况，然后通过WaveWatch-III波浪模型模拟了相应的波浪条件，最后使用波浪谱分析法计算了在北海Alma/Galia油田工作的FPSO（浮式生产储油装置）相应的年疲劳损伤量，结果如图5所示。^[6]灰色的区域代表了由于气候自身的随机性和非线性所导致的疲劳损伤范围。三条曲线的主体部分都在灰色区域之外，表明自从1850年以来，人类活动（温室气体的排放）已经对该FPSO的疲劳损伤造成了显著的影响。通过对比也可以发现，随着温室气体的大量排放，北海（The North Sea）油田的疲劳损伤正在逐渐减小。这是因为北海的海况通常非常恶劣，而全球变暖反而减弱了北海的恶劣海况。

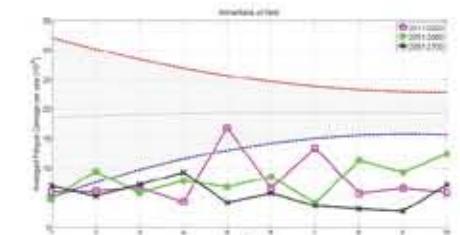


图5：FPSO年疲劳损伤量的预测。三条曲线分别对应2011–2020、2051–2060和2091–2100年。^[6]

综上所述，气候变化对于海洋波浪环境已经造成了明显的影响。各海域对于船舶结构极限强度与疲劳强度的要求也发生了变化。在疏浚用船舶的设计中，尤其是在近海工作的疏浚挖泥船，也应该考虑气候变化的影响。对于波浪环境更加恶劣的海域，船舶的设计应该有更高的要求；对于波浪环境更加温和的海域，船舶结构的使用寿命则可以相应的延长，以实现经济效益的最大化。

参考文献：

- [1] Wu T, Song L, Li W, Wang Z, Zhang H, Xin X, et al. An overview of BCC climate system model development and application for climate change studies. *Acta Meteorologica Sinica*. 2014;28:34–56.
- [2] Young IR, Zieger S, Babanin AV. Global trends in wind speed and wave height. *Science*. 2011;332:451–5.
- 5.
- [3] Bitner-Gregersen EM, Horte T, Skjøngh R. Potential Impact of Climate Change on Tanker Design. 2011:805–13.
- [4] Zou T, Kaminski M. Applicability of WaveWatch-III wave model for investigation of climate change effects on fatigue lifetime of offshore floating structures. *Ocean Dynamics*. 2016.
- [5] Thomas TJ, Dwarakish GS. Numerical Wave Modelling – A Review. *Aquatic Procedia*. 2015;4:443–8.
- [6] Zou T, Kaminski M. Projection and evaluation of climate change impact on fatigue damage of offshore floating structures in the North Sea. To be submitted.

作者简介：

邹涛，辽宁抚顺人，2005—2009年本科毕业于中国海洋大学船舶与海洋工程系，2009—2012年硕士毕业于中国海洋大学港口海岸与近海工程系，目前作为博士研究生就读于荷兰代尔夫特理工大学船舶与海洋工程系，研究课题是“气候变化对于海洋浮式结构疲劳损伤的影响”。

螺旋刀头：环保疏浚（极端环境疏浚）作业的完美设备

上海朗信机械设备有限公司 王文平（译）

摘要

环保或友好环保疏浚的目标是用最小生态毒性把污染沉积物层对于动植物的影响降到最低。达门疏浚设备公司(DDE)在环保疏浚领域，在复杂的螺旋刀头系统使用上，绝对是设计和建造的领袖。

特别的设计和程序确保尽量减少疏浚材料的使用，从而降低处理和存储成本，达到防治二次污染的目的。这就决定了此特别的设计具有特别的特征，这种特征基于最小的底部材料出土后的稀释或扩散，高精度定位，通过实际疏浚行动达到最小的泄漏和最低浊度的贡献，并优化施工方式。

螺旋刀头以接近现场密度的运输密度来开挖和移动底部材料输送到螺旋刀头的吸口入口位置。通过对螺旋刀头前后的底深和牵引速度的联合测量，将体积与疏通管道中的流量相联系，通过对疏浚泵的速度调节从而使吸入的底料浓度达到80%。达门疏浚设备公司对于疏浚泵的设计是尽可能靠近吸入口，增加浓度，可以输送到最大值，即最大效率。

配有螺旋刀头的挖掘机与底部制动器想配合，使得连续工作有了可能。而高垂直位置的精确性又能保证最小泄漏发生。由于疏浚会遇到非常广泛的不同的土壤和碎屑情况，螺旋刀头的设计保持了低浊度和高效率。

命名(简称)

A	螺旋叶片净投影面积	m^2	p	螺旋刀头叶片螺距	m/rev
a	水位以下的疏浚泵深度	m	p_{atm}	大气压力	Pa
D_z	吸泥管直径	m	p_d	蒸汽压力	Pa
g	重力加速度	m/s^2	Q_{auger}	通过螺旋刀头输送的物料的体积流率	m^3/s
h	开挖高度	m	Q_{bottom}	底部物料的体积流率	m^3/s
l	螺旋刀头长度	m	Q_{pump}	泵容积流量	m^3/s
L_z	吸泥管长度	m	Z	疏浚深度	m
n	螺旋刀头速度	rpm	α	入口损失因素	—
$NPSH_r$	必需汽蚀余量	m	λ	管道阻力因素	—
v	螺旋刀头牵引速度	m/s	ρ_m	混合物浓度	kg/m^3
v_z	吸泥管中的混合物流速	m/s	ρ_w	水的密度	kg/m^3
			ξ_z	配件损耗因素	—

1 简介

一些小规模的项目涉及到由水底抽取一些固体物质，而平时的疏浚方法不合适或不切实际。这里有两个案例，一个为被洪水淹没的地基开挖，另一个为小港口的建设开挖。一般来说，往往是通过几种机械设备组合实现的，如繁琐的组合型挖掘机、斗装起重机、自卸车、平底船和排水泵等。

达门的 DOP®(疏浚泵)就是为此应用而开发的。它是一个紧凑的，独立的疏浚泵，可以吊装在一个格构起重机的吊臂上或安装到挖掘机手臂上以便于在封闭空间精确定位。DOP® 泵系列所需的动力电源是由连接的起重机或挖掘机所提供。

这些疏浚泵在许多不同的项目中的使用日益增多，衍生了一系列不同的配套设备。其中之一即为螺旋刀头，这是一种通过螺旋疏浚达到环保功能的位于水下作业的疏浚泵。该螺旋刀头包括护罩，护罩一部分包住旋转油缸，该旋转油缸有沿螺旋刀头外表面缠绕的两个叶片。水下的固体物质被吸入螺旋刀头，然后过滤被护罩裹住，并被转移到疏浚泵的入口。

潜水疏浚泵和螺旋刀头的组合，创造了一个精确、高效、有效的工具，满足了这些小规模的项目与极端的环境要求的项目需求。

2 历史概览

2.1 首批研发

在上个世纪 90 年代初，一条铁路隧道正在修建，计划跨越荷兰史基浦机场的一条跑道底部。这需要移动众多紧密间隔的张力支柱进入积水地面，然后使用联锁板桩来封闭所产生的地盘状覆盖物，联锁板桩也被打入地面。桩与柱之间的带水的饱和土必须开挖。最初开挖时，一直到与柱齐平的地方都为干挖。对于底部被洪水淹没的区域，则使用疏浚泵来移除所产生的垃圾。

桩与桩之间非常有限的空间意味着被起重机吊装的疏浚泵必须紧凑，淹没在水中且可以远程操作和处理。为了防止任何对桩和预应力钢筋支柱的损坏，疏浚泵必须要非常精确地定位。为这个项目建造的实验泵被证明是强大的和高效的，符合其预期目的，但其开放的建设和纠缠在一起的电缆和管线使其成为一个令人沮丧的难修理的设备（图 1）。



图 1：实验疏浚泵

2.2 DOP® 介绍

最初的独立潜水排污泵的研发建造使得事态进一步发展，最终导致改进的成功版本于 1991 年正式进入市场，并注册商标名称为 DOP® 泵（图 2）。



图 2：第一台 DOP® 泵的展示

DOP® 泵本质上是一个传统的疏浚泵系统，但是采用一个紧凑的形式专门为移动用途灵活使用。它具有正常的疏浚泵的性能，如吸入能力、球通道和磨损行为。它的磨损部件与传统的疏浚装置没有什么不同，便于泵和备件的快速运输。

DOP® 泵采用机械密封，替代一般疏浚泵的冲洗压盖密封。这使得轴承块和液压驱动直接铸造在泵的外壳，从而有一个非常紧凑的装配。

该组件包含在一个气缸外壳中，疏通和喷射管道突出在外壳上。这就对每个单位部件提供了保护，免于粗暴搬运，便利了单独移动使用，如手机便捷使用一样（图 3）。



图 3：分解图

随着承包商开始将这些潜水疏浚泵应用到各种工程中，负责特定项目的专用疏浚吸头也开始满足各种专业需求（图 4）。



图 4：吸头系列

最近一个特殊的卸驳头已经被研发出来，它一般情况下与平顶驳船和挖掘机一起使用，在租赁市场与 DOP® 泵配合使用卸驳船的特定功能来创造一个低成本的驳船卸载系统。使用这个系统的结果是需要更少的稀释水卸载驳

船。使用潜水疏浚泵卸载驳船和耐磨射流水泵也考虑到在挖泥处置去可以有更经济的重新循环利用的多余的水。

一旦泵的使用可行，甚至专用挖泥船建造，都可以考虑使用安装这个特殊的疏浚泵。这些船都非常成功，如采砂和矿石开采（图 5）。



图 5：专用 DOP 挖泥船为采砂和矿石开采服务

2.3 环保工程

其中一个主要的环境清理工程是在荷兰，这个工程为凯特尔湖项目，此项目需要移除现场储存设施上的薄薄的层污染物质。荷兰政府邀请各疏浚公司说明并展示他们解决这一具有挑战性的问题的办法。一个叫 HAM 的公司，提出了一种创新的解决方案，即使用螺旋刀头挖泥船的方式。这种专用的配螺旋刀头挖泥船，代号 HAM 291，在与达门疏浚设备公司的合作下建造，原名 'De Groot Nijkerk'（图 6）。



图 6：螺旋刀头挖泥船 HAM 291

密集的研究和实践经验表明，螺旋刀头是非常有效的在高体积流率和高浆密度基础上去除软质薄层的系统。更多的关注是关于如何精确去除只有受污染的物质，而将未被污染的物质留在原地，从而减少所需的存储设施的尺寸。这种精度是通过将一个全方位的机械手与比较复杂的定位系统控制的螺旋刀头相结合来实现的。

凯特尔湖项目是如上所述项目之一，其中大量的污染物质已被处理。大多数项目涉及清理底部污染物质，这些污染物质仅是小到中等大小，不需要一个专门如 HAM 291 的螺旋刀头挖泥船，故支出也不会太大。相反，液压挖掘机在类似项目中的使用有一些固有的局限性。

挖掘机铲斗必须使两个通道入水来完成一个完整的挖掘周期。这增加了污染物泄漏和扩散的可能性。铲斗的宽度有限，当所述污染物沉积在水下的薄层时，其不允许在一个周期内去除大量污染物。以更高的速度移动铲斗确实能增加每个周期的产量，但增加了污染物重新悬浮的可能性和扩散量。正是由于这些原因，大多数挖掘机项目采用了笨重的淤泥显示屏，这种显示屏如果没有正确安装，则因为其对水流敏感，会增加浊度。

参与小环境清理项目的承包商希望保持低成本、高流动性的循环铲斗方法，可以大大减少或消除上述弊端。他们正在寻求一种具有高容量、低二次悬浮特性的螺旋式挖泥船连续开采方法。

2.4 潜水疏浚泵螺旋刀头的发展

这个问题的逻辑解决方案是配合低成本、高自动流动性螺旋刀头潜水泵装置。

螺旋刀头/潜水泵的结合（图 7）比起等效机制的螺旋刀头挖泥船更简单和轻便，因为它的铰接接受与之连接的挖掘机臂的影响。



图 7：安装螺旋刀头的疏浚泵

为了确保没有多余的物质需要疏浚，挖掘机操作员必须清楚疏浚的确切位置和螺旋刀头的物理位置。甚至有可能需要一个自动保护，头部不能进入禁区，在禁区有未被污染的物质或敏感障碍物。挖掘机必须配备一个适当的定位系统，其关系到该项目的调查数据。

为了防止任何被污染的物质离开套管，则套管的尺寸和沉积物的输送流量都要仔细匹配。

3 物理程序

3.1 螺旋刀头跟踪

对于最大清理效率的螺旋刀头，作为一个线性挖掘机工具，应通过疏浚的污染物的线性路线图来进行跟踪（图 8）。另外，若在少量的污染物泄漏是允许的情况下，可以实施螺旋刀头在大半径圆弧范围内的跟踪。

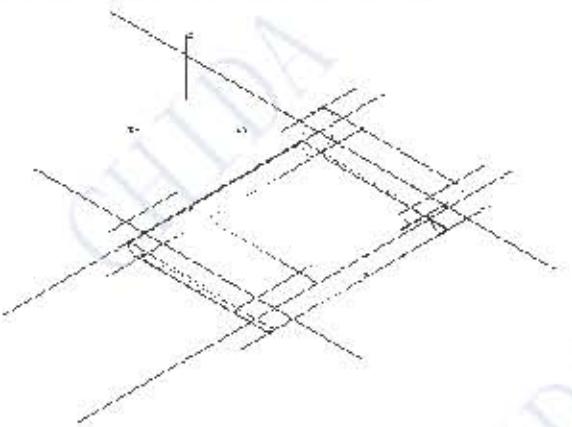


图 8：清理污染物的直线跟踪

污染物去除的容积率如下：

$$Q_{\text{volume}} = h \cdot l \cdot v \quad (1)$$

螺旋刀头的大小是根据污染物的去除容积率来确定，而去除容积率由最终用户和沉积物属性所决定。最大的跟踪速度是有限的，需要防止污染物的二次悬浮。最大螺旋刀头直径被沉积物厚度所限制。螺旋刀头的长度是唯一独立的设计参数，甚至这有些受制于挖掘机臂关于处理所吊装设备重量和几何形状的能力。

可以看出，当在不同厚度的污染沉积物进行操作时，螺旋刀头的去除容积率也会波动，除非它的跟踪速度可以进行安全调整，不至于导致沉积物二次悬浮。

3.2 螺旋刀头采集

当螺旋刀头旋转并向前移动时，疏浚物质会不断地

被卷起并输送到护罩中心的泵入口（图 9）

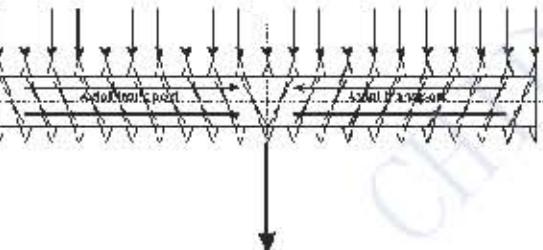


图 9：螺旋刀头内的混合输送过程

带有旋转速度的叶片面积和间距产生螺旋刀头的输送能力：

$$Q_{\text{cutter}} = P \cdot A \cdot \frac{\pi}{60} \quad (2)$$

螺旋刀头叶片的面积和螺距在设计时就被固定了。它的旋转速度是唯一的参数，可以在运行过程中发生变化。在运行中的螺旋刀头的提取率是由疏浚物质层的厚度和最大速度决定的。

有一些情况下，螺旋刀头在其最大转速旋转，会遇到一小块沉积物，其厚度小于正常的沉积物。这将导致一个浓度更小的固体和水的混合物被输送到泵中；相应地，更大的体积的水必须由岸上的存储设施中抽取。唯一的解决此问题的方法是降低螺旋刀头的跟踪速度，这反过来又降低污染物的去除容积率。

当一个给定的沉积物体积被吸入到螺旋刀头，相应体积的水就需要被排出。每个螺旋刀头的设计都是与其预期的操作环境相匹配的，这样可以适应在这个过程中没有形成的不规则的液体流动和漩涡，否则可能会导致沉积物的浓度加大以及增加大量可以稀释浓度的水来保持潜水疏浚泵的畅通。

3.3 混合物的运输

螺旋刀头和疏浚泵的体积流量必须仔细匹配：

$$Q_{\text{pump}} = Q_{\text{cutter}} = Q_{\text{volume}} \quad (3)$$

如果泵的容量太高，则它向岸边输送的混合物浓度就会偏稀。如果泵的容量太低，则当螺旋刀头收集沉积物的时候一个疏浚泵不能以相同的速度移动。过量的泥沙就堆积在螺旋刀头的前面，螺旋刀头会被动增加浊度甚至混合污染物会趁机进入干净的泥砂之下。

高混合物密度可以由螺旋刀头运输，当然也要由泵来运送。正常的疏浚泵有一个吸入能力有限的可用一般吸头

（非螺旋刀头）。

$$p_{\text{atm}} + \rho_{\text{w}} g Z - \frac{1}{2} \left(1 + \alpha + \xi_r + \lambda \frac{L}{D_s} \right) \rho_{\text{w}} v_r^2 - \rho_{\text{w}} g (Z - a) \geq p_d + NPSH_r \quad (4)$$

or:

$$\rho_{\text{w}} \leq \frac{p_{\text{atm}} + \rho_{\text{w}} g Z - p_d - NPSH_r}{\frac{1}{2} \left(1 + \alpha + \xi_r + \lambda \frac{L}{D_s} \right) v_r^2 + \rho_{\text{w}} g (Z - a)} \quad (5)$$

从公式 (5) 可以看出，最大限度地提高疏浚混合物密度的唯一方法是减少吸入口和泵入口之间的管线长度。所有其他参数都是固定的。完全消除中间管道，直接将泵连接到吸嘴是理想的组合，是疏浚泵 / 螺旋刀头组合的一个重要特征。在实际运行中，它们由于具有能够处理高混合密度的能力，已经取得了很好的生产率。

3.4 切削力

螺旋刀头的切割作用发生在其张开的前端。通过螺旋叶片赋予头部的力既有切向又有纵向构件。

螺旋刀头的对称性导致纵向力互相抵消。

切向力必须通过垂直力施加到螺旋刀头上。在理想的条件下，潜水疏浚泵 / 融合刀头组合的重量通过刀片的切割作用不足以防止它们被推离湖边或河床（图 10）。

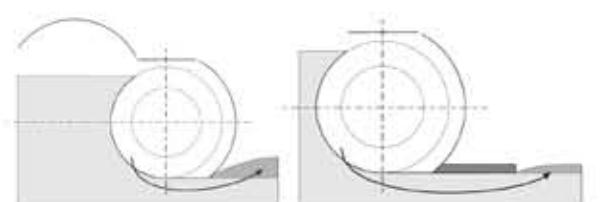


图 10：跟踪足迹原理

4 应用

4.1 De Boer 德波尔公司

德波尔公司坚信“小而美”的原则，是荷兰第一个认识到螺旋刀头潜力的公司。

他们租赁了一套疏浚泵 / 融合刀头设备，于 2004 年应用在厄伊特海斯特镇附近的阿姆斯特丹整治工程（荷兰）上（图 11）。挖掘机配了一个机械手为淹没的疏浚泵 / 融合刀头组合提供完整六度自由移动。公司同时引入了一个非常精确的定位系统，以保持操作员在任何时候都可以被通知到螺旋刀头的所在位置。



图 11：试验中的小号的螺旋刀头

潜水泵 / 螺旋刀头在典型的松软土质中表现得很好，项目也进行得非常成功。污染的泥土被清除，并最小程度地稀释，减少了操作、脱水和储存成本。留下来的底部的沉积物非常干净，而且对环境绝对无害。

4.2 Golder 联合公司

Golder 是一家加拿大承包商，成功地用一台潜水泵 / 螺旋刀头的组合，完成了港口清除污染物的工程项目（图 12）。



图 12：Golder 疏浚现场

此现场多氯联苯污染沉积物覆盖面积有 50000m³，浓度高达 340mg/kg。污染物不均匀地分布，在某些位置厚度达到了 7 米。在过去有一个储存污染沉积物的想法，但是失败了。沉积物非常复杂，其中有非常多的碎片残骸（原木，电线等）夹杂在沉积物中。由于此疏浚场地是处于一个大型的海洋潮汐波动地带，有强大的潮流，将疏浚场地用淤泥屏障隔离非常困难。水必须要非常干净，因为三文鱼在迁徙的时候也会使用这块区域。为了预防更多对环境的伤害，监管者命令修复污染沉积物。

Golder 疏浚项目结果 (Johansson, 2005)

- 产量范围从 200 到 6,500 m³/周
- 平均产量 2800 m³/周
- 50,000 m³ 的污染沉积物被疏浚
- 所有危险物和工业物体被清除
- 审批、监控、移除、水处理的成本：\$170 到 \$250/m³ 根据不同分类进行隔离节省了巨大的清理成本。
- 操作时浑浊度增加程度非常低甚至没有

4.3 Kystverket

Kystverket 是挪威的一家私有化的沿海指挥部，主要职责是保持港口和航道的干净和通航性。

和很多环境疏浚工程不同，本地的沉积物是由于北极圈侵蚀的软粘土组成。塑性粘土需要用特殊的处置办法，需要更强的剪切力。切向切削力比一般的摇摆运动更好，摇摆运动往往是通过挖掘机来完成，移除疏浚物的效率不高。挖机的杆和挖臂的来回运动产生了更大的力，这被发现是非常有用的。螺旋钻头的整体结构更强大，通常适用于松软淤泥（图 13）。



图 13：重型螺旋钻头

在螺旋刀头上安装了一个格栅，防止港区内大量的残

骸碎片进入泵体。一个更好的好处是格栅的钢筋使粘土的凝聚力减弱，从而使螺旋钻的切削阻力减少（图 14）。可观察到高疏浚密度和产量，在规定的时间内项目顺利完成。



图 14：在保护格栅上的碎片

这对于非常敏感的北极圈环境，干扰是最小的，因为它的低浑浊度和仅仅只是高精度地去除污染层。

5 未来发展

潜水泵 / 螺旋刀头的持续成功，和大面积的承包商承担清埋工作，使我们考虑用挖泥船来使用这个工具。

现成的设备意味着他们不需要使用大量的投资来购买螺旋钻挖泥船。只要使用浮箱，和部件简单连接，再安装一个桥架，连接潜水泵和螺旋钻头，使用平行四边形的形式使螺旋刀头保持水平（图 15）。

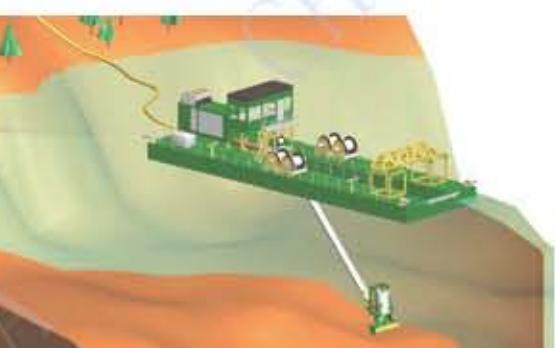


图 15：专用 DOP 螺旋疏浚

6 结论

潜水泵 / 螺旋刀头组合是一个谨慎的已开发的系统，已经被证明了是一个非常有用和有效率的工具。它的主要的特点和效益总结如下：

- 此设计用于操作已被全球的承包商所证实是非常成功的。
- 重型的结构和防护性的套管可在极端环境下操作使用。
- 磨损件是由高强度耐磨材料制成，且非常容易更换。
- 可适用于液压和电力驱动。
- 基础的潜水泵体可换用其他特殊目的制成的吸头，可适用于不同的任务。
- 配置可定做，以适应特别的污染物和特定的要求。
- 泵配置了重型的机械密封，可适用于海水和油脂。
- 单泵输送距离可达 1000 米。
- 球体通过粒径可达 200mm。
- 螺旋钻头有多种尺寸，以适应客户的需求。
- 非常高的产量。
- 在限制污染物的再悬浮和迁徙上非常出色。
- 节省处置成本。
- 极低的水固体比例。
- 低浑浊度。
- 精确的疏浚位置控制。
- 去除泥沙的能力一次通过层厚可达 40cm (+/- 5cm)。
- 隔离不同程度污染的能力。

由此可见，潜水泵 / 螺旋刀头的组合已经多次在技术挑战和政策敏感疏浚区域证明了自己。螺旋刀头疏浚也给承包商带来了利益，使他们再也不需要像从前那样投入巨大的金融投资。

传统水利船闸项目干出新花样

中国铁建港航局集团有限公司 杨少波

南宁市邕宁水利枢纽航运过坝工程（简称船闸）是由中国铁建港航局集团有限公司独立承建。该项目是港航局进军水利行业的桥头堡工程，如何高效优质完成工程建设是管理团队面临的一项挑战。项目开工后就碰到百年一遇的强降雨，致使工期严重滞后，但是通过科学组织施工、革新管理手段、引入先进技术、开发人力资源潜能等多项举措，项目在一年内发生了大扭转，干出了新花样，创造了港航人的“邕宁速度”。

1 项目背景及特点

邕宁水利枢纽航运过坝工程位

于广西南宁仙葫经济开发区，该船闸依邕江牛湾半岛上开凿的航道而建，属单线单级 2000 吨船闸，设计水头 8.38 米，偷水系统采用闸室底长廊侧孔偷水，主要工程量包括土石方开挖 1622 万方、混凝土 67 万方等，工程总造价为 8.28 亿元，2017 年 10 月前需建成通航。

该项目具备传统水利船闸的一些固有特点，如工程涵盖土石方开挖、大体积混凝土施工、桥梁工程、金属结构安装、机电工程等多个施工专业领域，工作面多且交叉作业，相互干扰大，高空作业多，综合管理难度大。同时还涉及到超深基坑开挖、高边坡支护的施工，航道开挖中还存在岩溶裂隙水作用较大的溶洞和全风化泥岩夹层，爆破工效低，地基处理难度大，存在较大的土方坍塌和边坡失稳风险。另外，混凝土入仓强度大，浇筑间隔时间短，要求连续 6 个月的混凝土月浇筑量超过 5 万方，如何控制混凝土温度的同时连续、高强度混凝土浇筑是本工程的一大难点。

2 调整管理思路，意识引领行动

因前期遇到的重重困难，施工进展缓慢，至 2016 年 5 月整个项目几乎陷于停滞状态。项目部对前期工作作了深入分析和总结，决定对后期工作思路进行了重大调整。将



图为：中铁建港航局承建的南宁市邕宁水利枢纽航运过坝工程

整个施工分为四个阶段进行并制定了“三季度有改观，四季度大改变，2017 年工程形象大提升”的目标。项目部果断采取一系列革新措施。一是优化了组织结构，项目部办公机构设六部两室职能部门，组建了四大工区、三大保障系统（生产、技术、后勤），形成了前场三个工区大干快上，后场一个工区保驾护航的局面。二是调整了工作思路，将船闸主体从两个队伍增加到四个队伍，引进上下游导航墙、靠船墩、分流墩和边坡防护作业队伍，形成“以船闸主体段为工作核心，上、下游引航道为两个基准点，施工现场四面开花的格局”，高峰期工作面多达 40 多个，形成了大干、快干的生产局面。三是生产指挥系统前移至船闸右岸，优先解决了水、电、路的问题，坚持现场办公，充分掌控一线生产，解决措施直达现场，提高生产效率。四是领导班子率先垂范，坚持领导夜间值班制度，以身作则冲在前线，切实解决施工问题。五是坚持生产例会日日开、施工任务日日结、劳动竞赛月月办，项目全体人员团结一致、戮力同心，克服种种困难，形成了“先进帮后进，后进赶先进、人人争创一流”的施工氛围。

3 重拳出击，采用“组合拳”破解难题，追赶进度

优化技术方案，制定周密直观的生产进度计划。从

设计、工艺等方面不断进行优化，降低施工成本、加快施工进度。如将船闸主体结构大体积混凝土施工由三级配改为二级配，增加了项目如期完工的可能性。项目部根据实际情况对总体计划先后进行了五次调整，以指导施工生产，确保关键节点工期。将计划分解到每一天，以日保周、以周保月、以月保季。在计划制定过程中，别出新意，制定了月计划和周计划形象效果图，能清晰反映每个混凝土浇筑部位的计划施工时间、混凝土方量、高程等信息，使施工计划能够一目了然。

加强现场管控，确保日例会工作安排得到落实。项目部每天晚上都会对前一天工作进行总结和对次日工作进行安排。为使得安排得到有效落实，项目领导亲自带头现场蹲点值班，白天和晚上都有项目领导在重点部位蹲点指挥，督促作业队伍落实人、材、机，理顺各作业环节紧密、有序衔接，避免窝工，检查重点部位安全措施是否有效等，协调解决施工问题。

利用现代化的通讯工具，提高生产指挥效率。在施工进度管理手段上，充分利用手机微信，大面积使用对讲机等现代化通讯工具。通过微信群、QQ 群发布通知、天气预报、值班安排等。要求施工生产管理人员利用每天早、中、晚定时发布各工作面人、机、料投入情况等。这些信息使项目部随时掌握施工现场最新情况，大大提高了生产指挥效率。大面积的给关键性班组和技术管理人员配备对讲机、对讲机分 16 个频道统一管理，确保工作期间对讲机畅通，可以及时安排人员解决现场问题，指令能够直达现场。

安装实时视频监控系统和引入无人机技术，实现项目的远程管控。为加强现场管控，引入“互联网+”技术，安装多个可以 360 度旋转的高清摄像头，打造实时视频监控系统。该系统将网络与监控关联，在移动终端上（智能手机、平板电脑、电脑等）可实现监控远程管理，引入信息化管理手段，完善实时视频监控系统，随时随地管控施工一线，优化调度，提高工效。同时引入无人机技术，用于施工现场的拍摄，能够多角度、全方位的拍摄施工全貌，也能对重点部位进行拍摄，了解其安全、质量、进度情况，便于加强施工管理，能够从视觉上全方位实时动态掌握项目整体生产情况。

应用 BIM 技术提前预知设计冲突，优化施工组织。BIM，即建筑信息模型技术，通过数字信息仿真模拟建筑物所具有的真实信息。它具有可视化、协调性、模拟性、优化

性和可出图性五大特点。本项目因涉及土石方作业、土建工程、桥梁工程、机电工程、信息控制系统等多工程领域的综合管理，运用 BIM 技术，建立工程模型，可以实现船闸工程各个专业的有效融合，提前获知并解决设计冲突问题，获取各部位工程量及资源配置、优化进度控制和资源管理。

通过混凝土技术改造，有效控制了大体积混凝土温度裂缝。大体积混凝土施工的温度裂缝控制一直船闸工程的一大难题。本工程的大体积混凝土最大浇筑方量为 2006 方，为了确保混凝土浇筑后质量，项目部进行了技术改造。项目部从混凝土的配合比、入仓、出仓、运输、冷却养护多方入手研究，采取有效措施避免了大体积混凝土出现贯穿性裂缝。

动态调整劳动竞赛方案，提高参建队伍积极性，使得工期得到了保障。项目部每月开展劳动竞赛，对本月施工生产情况进行总结分析，布置下月的施工任务并下达考核指标。考核指标是动态变化的，紧密与进度挂钩，对于关键工序节点设置高额奖金，提高人员积极性。项目创造了混凝土日最大浇筑量 4750 方、周最大浇筑量 21502 方、月最大浇筑量 73860 方的记录。截止 2017 年 3 月，项目已经完成总工程量的 90%，剩余工程量将在 6 个月内完成，工期得到了有力保障。

4 项目管理中值得推广的经验

要选好项目管理团队。项目管理团队是否配置合理对项目的成败至关重要，尤其要慎重选择项目经理，项目经理是项目管理团队的领导核心。项目经理在能胜任岗位的前提下，对企业的责任心和事业心应该着重考察，只顾自己利益不顾企业利益的人应杜绝使用。

项目策划质量要高并能够落地。项目进场首先要做好策划，充分发挥群策群力的作用，确保项目策划质量高，指导性强。实施过程中项目策划要能够落地，并及时动态调整，使项目策划能够真正起到帮助项目解决实际问题的作用。

施工方案要不断优化。项目实施过程中，要针对工程实际情况，从设计和施工两大方面入手，着重从技术、工艺、材料、设备等方面进行不断优化，以降低施工成本、加快施工进度。

加强执行力管理。项目管控要狠抓执行力，每项工作都要有责任人和完成时间，日例会要坚持不懈召开，不断检查落实布置的各项工作完成情况，对新出现的问题及时协调解决，确保各项工作能够闭环。

张聪¹, 罗志忠², 朱浩³, 鲍子谷⁴
中交第二航务工程勘测设计院有限公司 武汉 430070



城市河道水体综合治理研究 ——以宜昌市沙河水体治理为例

摘要: 沙河是位于宜昌市西陵区的一条黑臭河道,项目目标为将水质由劣V类改善至IV类。本文介绍了治理所采用的截污、清淤、污水厂升级扩容、引水、驳岸以及生态修复等工程措施,并从截污、清淤、生态修复等方面分析了各项措施对水质改善的影响。对我国城市河道水体综合治理有很好的借鉴作用。

关键词: 城市河道; 水环境; 综合治理

Abstract: Shahe River is a malodorous black river, located in Xiling District, Yichang City. The project aims to improve the water quality from the class inferior V to IV. This paper introduces the engineering measures such as interception, dredging, expansion and upgrading of sewage treatment plants, water diversion, revetment and ecological restoration etc. It also analyzes the impact of various measures on water quality improvement from the aspects of interception, dredging and ecological restoration. It can be a good reference for the comprehensive water treatment of urban river in China.

Key words: City river channels; Water environment; Comprehensive treatment

1 概况

沙河为宜昌市的城市河流,位于黄柏河左岸支流,其入汇口位于夜明珠,距葛洲坝三江上引航道约1.25 km。沙河河流长度约6 km,流域面积12.7 km²,河道平均坡降约8%。与黄柏河洪水特性相似,沙河亦属典型的山区性河流,暴雨主要集中在5~9月。洪水具有集流时间短,汇流快,暴涨暴落的特点。一般水文条件下沙河流量较小,沙河河口50年一遇洪峰流量为288 m³/s,20年一遇洪峰流量为110 m³/s。



图1 沙河地理位置图

目前沙河由于受葛洲坝库区水位顶托,河道淤积严重,水体流速慢,经常内涝。同时周边污水、废水、生活垃圾的随意排放使沙河成为了城市的纳污载体,河水发黑、散发恶臭,生态环境功能几乎全部丧失,曾多次遭到居民投诉。

2 沙河水环境现状以及存在的主要问题

在沙河设置7个断面,水质现状的指标为2015年均值,见表1。

表1 水质现状

监测对象	编号	TN	NH ₃ -N	TP	COD _{Cr}	BOD ₅
		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
河道断面	D01	31.8	28.7	0.8	40.6	26.1
	D02	21.7	20	1.01	25.9	19.8
	D03	17.9	15.1	1.15	19.6	25.8
	D04	16.2	11.3	1.54	17.7	18.2
	D05	33.3	30.4	2.37	71.5	28.6
	D06	16.5	11.8	1.57	21	23.8
	D07	2.7	0.226	0.13	11.2	10.5

本次水质现状评价的主要指标是TN、NH₃-N、TP、BOD₅和COD_{Cr},评价标准为水环境功能区执行《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)IV类。根据监测结果,对水质监测结果进行评价,发现几乎所有的监测点水质为劣V类。

表现现象:沙河流域现状存在12个排污口直接将未经处理的污水排入沙河中。部分排污口周围伴随着大量生活垃圾,恶臭难闻,卫生条件极差;河面被入侵种——水葫芦侵占,大肆生长,阻碍阳光照进水体,使得水体内部的沉水植物、鱼类等生长受限,严重占据当地动植物生态位。



图2 沙河水环境现状

沙河水环境主要问题:河段水体水质较差,有机污染严重,处于富营养化状态;本项目区域存在外源污染,对水体造成间歇性冲击;底泥污染较重,内源污染持续影响水质;现有植被布局和配置不合理,不能有效且持续的改善水质;地表径流缺乏生态拦截带。

3 沙河污染负荷分析

污染源分为外源污染和内源污染,其中外源污染主要为点源污染和面源污染。点源污染主要来自于城市生活污水的排放及道边第三产业污水排放;面源污染主要来自于地表径流。由于城市经济发展迅速,城市车辆废气、垃圾、大气降物形成的污染物也较多,这些污染物被暴雨径流冲刷进入河道。各种点源、面源污染源侵入河道后,造成河水溶解氧过低,缺少水生动、植物生存的环境,使水体逐渐失去自净能力,外源污染是导致河道水质恶化的根本原因。内源污染也是城市河道污染的一个重要原因,河水滞流,河道淤积,大量含有有机物、氮、磷、重金属等污染物质的底泥沉积造成了内源污染^[1]。水体底泥污染是世界范围内的一个重要环境问题,其污染主要通过大气沉降、废水排放、水土流失、雨水沾染与冲刷进入水体,最后沉积到底泥中并逐渐富集,使底泥受到严重污染。沉积在底泥中的氮、磷营养元素,易形成营养物质的内负荷。

沙河外源污染分析:

1) 点源污染主要来自于沙河周边12个排污口、两

个上游来水和沙河污水处理厂尾水。排污口排水浓度最高为未处理污水；上游来水浓度稍低但流量明显大于排污口且有季节性变化；污水处理厂尾水目前为一级B标准排放，日均流量大于2万吨。点源污染负荷 $BOD_5 199.12 \text{ t/a}$, $a_{COD} 657.09 \text{ t/a}$, $NH_3-N 99.77 \text{ t/a}$, $TP 14.66 \text{ t/a}$ 。

2) 面源污染主要为降雨对沙河周边城市道路、绿地以及建筑的冲刷形成的地表径流。污染负荷 $BOD_5 53.4 \text{ t/a}$, $a_{COD} 238.4 \text{ t/a}$, $NH_3-N 7.6 \text{ t/a}$, $TP 6.4 \text{ t/a}$ 。

表 2 沙河外源污染排放比例

源类	$BOD_5 (\%)$	$COD_{Cr} (\%)$	$NH_3-N (\%)$	TP(%)
面源	21.15%	26.62%	7.08%	30.39%
点源	78.85%	73.38%	92.92%	69.61%

沙河内源污染分析：通过底泥监测数据可核算出沙河内源污染含量为： $TN 4502.95 \text{ t}$, $TP 955.82 \text{ t}$, $COD_{Cr} 75347.55 \text{ t}$, $NH_3-N 376.85 \text{ t}$ 。底泥与上覆水之间不停的进行着物质交换，溶解于水中的污染物浓度在很大程度要受底泥的影响。因为底泥和水体之间存在着一种吸收与释放的动态平衡，一旦水体污染物浓度减少，底泥中污染物释放量就会增加，对水体二次污染也会增大，其释放的负荷量，通常作为内源。

4 治理措施

以“截污、清淤、提标、治污、补水、修复”作为综合治理的思路。



图3 技术路线图

1) 截污：对沙河周边12个排污口进行相应的管网改造，总共新建截污管道约7.7km，最终将污水排入沙河污水处理厂集中处理。

2) 清漂清淤：由于水葫芦和漂浮垃圾非常密集，水质

黑臭，先对水葫芦和漂浮垃圾进行清漂，清漂主要集中在污水处理厂以上至三峡快速路之间水面宽阔河段，共计需清漂面积约15.6万 m^2 。根据沙河现状条件以及河底淤泥层厚度分布状况，全部清除污染淤泥，总的清淤面积约22.4万 m^2 。

3) 沙河污水厂升级扩容：将原沙河污水厂改造升级，处理规模由原来3万吨/天扩容至6万吨/天，出水标准由一级B提升至特别排放限定值($BOD_5 \leq 6$ 、 $COD_{Cr} \leq 30$ 、 $SS \leq 10$ 、 $NH_3-N \leq 1.5$ (3)、 $TP \leq 0.3$)。

4) 引水：从附近河道引水，水源水质优于《地表水环境质量标准》Ⅲ类标准，年总引水量为317万 m^3 。

5) 生态驳岸：综合考虑沙河现状河底高程、疏浚工程及景观水深要求，新建护岸结构长9510m，主河区均为斜坡式生态驳岸，形成陆域水域过渡缓冲带。

6) 生态修复：在周边截污工程、清漂清淤工程完全实施之后，通过生态修复工程，对沙河水体进行生态处理，逐步构建以沉水植物为主的水生态系统，促进稳态系统的转换。工程范围涉及整个水域，总面积约24万 m^2 。



王逢武
中交广州水运工程设计研究院有限公司，广州 510220



生态浮床技术在水污染修复中的研究进展 *

摘要：生态浮床作为一种环境友好型的水污染治理方法，比物理化学方法具有较大的优势，自提出以来备受关注。本文综述了生态浮床技术的原理、特点及在水体修复中的应用现状，总结了近几年生态浮床技术的研究进展，阐述了新型复合生态浮床的技术路线及应用，并结合当前的研究现状，对今后生态浮床技术的研究方向进行了讨论和展望。

关键词：生态浮床；水体修复；自然生物膜；植物－自然生物膜复合生态浮床

Abstract: Ecological floating used as an environment friendly water treatment method has great advantage than the physical and chemical method. It has been more widely concerned since it was put forward. This paper reviews the repair mechanism, characteristic and research status of ecological floating technology in water remediation, summarizes the research progress of ecological floating bed technology in recent years, This paper expounds the technology route and application of the new type of hybrid ecological floating bed, and combining the current research status, the future research directions of the ecological floating bed technology were also discussed and prospected.

Key words: Ecological floating bed technology; Water remediation; Periphyton; The hybrid floating treatment bed

近年来，随着城市化和工业化进程的不断加快，富含氮、磷等营养盐的工业废水和生活污水大量排入湖泊、河流，引起以藻类为主的水生生物大量繁殖，导致水质恶化，甚至形成黑臭水体，水体污染问题日益严重^[1, 2]。

在诸多水体污染治理方法中，生物法因其环保、安全、无二次污染等优点而被广泛接受^[3]。近年来，在实际污染水体治理中，生态浮床技术作为一种环境友好型的生态修复技术，因其可移动、无维护、使用寿命长等特点备受关注。生态浮床技术自 1979 年德国 Best man 公司^[4]提出以来，迅速在欧洲和日本等地广泛应用。我国 1980 年开始，越来越多的学者引用生态浮床进行科学的研究和工程实践，也取得了不错的成效^[5, 6]。

目前，利用生态浮床技术培育水生植物修复受污染水体的研究已经很多，其中运用生态浮床技术治理黑臭水体是当前研究的热点。本文在生态浮床技术研究的基础上，结合中国水环境污染治理技术的现状，对生态浮床技术的发展及应用作简要综述。

1 生态浮床技术

1.1 生态浮床技术净化机理

生态浮床是以高分子材料为载体，采用现代农艺和环境生态工程的综合集成的水面无土栽培技术。其主要是利用水生植物根系的截留、吸附、吸收及根系上微生物的净化作用去除水体中的氮、磷以及大颗粒物。具体净化机理如下：

(1) 通过植物生长，吸收消耗水体一部分营养盐，降低了内源负荷；植物根系上附着的细菌等微生物，对氮、磷等营养元素具有较好的去除效果。

(2) 植物的光合作用释放氧气，增加上覆水溶解氧含量，改善水质。

(3) 植物根系可释放化感物质，部分化感物质可抑制藻类生长，降低水华发生的风险。

1.2 生态浮床结构

传统生态浮床一般由框架、浮体、水下固定装置和植物四部分组成。

1.2.1 浮床框架 浮床框架可选择竹子、藤条等绿色

环保材料或 PVC、PPC 管等化工产品捆包搭建。不仅可营造良好的景观效果，而且便于移动和更换，易于后期管理和维护。

1.2.2 浮体 目前，浮体一般采用聚苯乙烯泡沫板^[7]、水溶性聚氨酯^[8]或聚丙烯随机高分子聚合物^[9]等高分子制成的轻质材料。

1.2.3 水下固定装置 固定方式可采用水下固定或岸边固定两种方式。利用绳索连接岸边，绳索应有一定的幅度，防止水位的变化。

1.2.4 浮床植物 主要有浮叶植物、挺水植物、沉水植物和部分陆生植物。据统计，目前浮床植物有 80 多种^[10]，主要包括蔬菜、花卉等，常见的有空心菜、美人蕉、狐尾藻、菖蒲、再力花、铜钱草等。

2 传统生态浮床及局限性

2.1 传统生态浮床技术

传统的生态浮床主要以水生植物为核心，依靠植物生长、根系微生物作用，去除污染物，净化水体。南楠等^[11]研究表明，芦苇对 COD、TN、TP 的去除率分别为 23.33%、37.3%、46.55%，中国莲对 TN 的去除率为 50.18%。已有研究表明^[12, 13]，漂浮植物如凤眼莲和浮萍具有较好的水污染治理效果，能去除有机物、氮、磷、重金属及放射性物质。Gao^[14]研究表明，金鱼藻在春季和秋季对磷的去除率为 91.75% 和 92.44%。陆生植物也被用于生态浮床技术，是其应用于水体污染修复的重要方式和途径。

2.2 传统生态浮床技术的局限性

传统生态浮床技术因环保、安全、治理效果明显等优点而被应用于水体污染生态修复，是一种比较理想的治理方法。但该方法也存在些许不足，如治理效果受植物生长周期影响，对气候的依赖性较强，须定期打捞死亡的植物残体，避免残体腐败后进入水体，造成二次污染。

传统生态浮床主要在植物选择^[15]及其水质净化效果^[16]等方面研究较多。从其净化机理可知，浮床主要依靠植物为净污主体，其净污主体较单一，局限性很大。张文艺^[17]等研究表明，单一植物对氮、磷营养盐的去除效果较差，去除率小于 10%。同时，生态浮床技术对

表层水体净化效果较好，但对深层水体的净化效果较差。为了克服传统生态浮床净化主体的单一性，越来越多研究针对传统浮床进行技术创新，诸多创新型生态浮床已逐渐应用于水污染治理中。

3 生态浮床的技术创新

3.1 浮床载体创新

传统生态浮床载体多选用泡沫、PVC材料，容易造成水体二次污染。而竹木载体长期浸水会腐烂污染水体。因此，浮床载体的创新显得尤为重要，目前已有研究对此开展深入探讨。如宋娇^[18]等利用丝瓜络、活性炭海绵和竹炭纤维三种生物载体组合而成浮床，且有一定的去氮效果。苏刘选^[19]等利用竹丝材料制成生物膜浮床，水污染治理效果较好。胡光济^[20]等用湖泊底泥、珍珠岩、灰渣胶凝，按12:3:5的比例制成长稳定的淤泥生态浮床载体。该载体不仅能够解决二次污染问题，而且实现了湖泊底泥的资源化利用，是一种应用推广前景较好的载体。相比了国内的研究，国外^[21]发明了网状蜂窝载体，水体在其中呈现三维流动，去污效果明显提升，但考虑成本较大，须根据实际情况选用。

3.2 创新型生态浮床

近年来，随着浮床载体^[18]、加强手段^[22]、组合方式^[23]、单元贡献率^[24]、生态场^[25]、微生物^[26]及自然生物膜修复技术^[27]等技术应用于生态浮床方面的研究不断深入，基本上突破了传统浮床的技术模式，并取得一定成效。

3.2.1 植物—自然生物膜复合生态浮床

为了克服传统浮床净化主体的单一性，发展一种低能耗、低费用、应用广泛的新型技术是必然趋势。近几年，随着自然生物膜原位修复技术的不断发展，一种基于自然生物膜的植物—自然生物膜复合生态浮床技术应运而生。

(1) 复合浮床的制备

植物—自然生物膜复合生态浮床主要由三部分组成：上层植物种植区，中层浮床支架，下层自然生物膜载体悬挂区。

上层浮床植物采用多种植物配比模式，主要以水生植物为主，包括挺水植物、沉水植物和浮叶植物。

在浮床支架上固定有浮体，构成“网兜式”浮床本体。

浮床支架设置在需净化的水体水面上。浮床本体的表面设有多个种植槽，种植槽内填充有生物基。所述生物基中设有承托网，承托网中种植浮床植物。浮床框架使用PVC管($d=15\text{cm}$)捆包搭建，组成正三角形($L=300\text{cm}$)。浮体采用聚苯乙烯泡沫板高分子轻质材料制成。

下层设置自然生物膜载体悬挂区。可选择比表面积较大的弹性填料作为自然生物膜载体，有利于自然生物膜的富集。弹性填料一端垂直的悬挂在框架网格上。

水下固定装置采用活动式固定，有利于浮床系统能够随着水位的增加或降低而上下移动。制作完成后，将弹性填料和浮床同时放入污染水体。

(2) 自然生物膜的固定化

自然生物膜的固定化是实现植物—自然生物膜联合修复的基础，自然生物膜的固定化的方法很多，一般选用弹性填料^[28]、人工水草^[29]等载体富集。自然生物膜能够附着生长在载体基质上，并形成一层薄膜。生物膜通过吸收水体有机物、氮磷等进一步富集，形成更厚的膜。在生物膜的形成及污水处理过程中，自然生物膜呈现一个自我更替的过程，即“生长、更新、脱落”等阶段，脱落的自然生物膜沉淀到水体，从而去除水中的氮、磷营养盐^[30]。自然生物膜作为水生生态系统的一个重要组成部分有其特有的作用。从水体生产力角度来看，脱落的自然生物膜可作为螺、蚌、虾、鱼等的饵料，承接上下游食物链。

(3) 净化机理

在复合生态浮床修复污染水体中，植物和自然生物膜通过协同效应，联合修复污染水体，具体净化机理如下：

一方面，植物能吸收水体中的氮、磷等营养盐供其生长，并自然生物膜提供营养物，诱导自然生物膜降解某些难降解的有毒物质^[31]。植物根系不仅可充当“载体”功能，富集自然生物膜，而且其分泌物可促进某些嗜磷、嗜氮细菌的生长，促进氮、磷的释放和转化，其分泌的某些抗生素还可抑制部分藻类的生长，降低水华的风险^[32]。此外沉水植物有利于在河底形成屏障，可降低底泥中营养物质的溶出速度^[33]。植物浮床能够阻挡阳光直接照射在水面上，

降低藻类进行光合作用强度，从而有效抑制藻类的生长繁殖。

另一方面，自然生物膜的不断生长，增强了对污染物的去除能力，使植物有更加优越的生长空间，同时，弥补了在植物对深水净化效果不好的缺陷^[34]。自然生物膜对磷具有固持和吸附作用^[35]，能分解和转化有机氮为无机氮被植物直接摄取，抑制部分藻类的生长^[36]，从而降低水华发生的风险。自然生物膜的引入起到了食物链的“加环”作用，引入自然生物膜的复合生态浮床作为一个完整的微生态系统，对水质净化效果和生态系统的稳定性都有显著提高。

在时空尺度上，自然生物膜和植物之间慢慢形成一个复合的交互生态系统，其间不断进行物种迁移、能量转换和物质循环。在植物—自然生物膜的联合修复作用下，植物—自然生物膜复合生态浮床技术大大提高了对污染物的去除效果，促进了污染物的快速降解、转化。

(4) 工程应用

富集自然生物膜的载体很多，一般选择比表面积较大的，其富集自然生物膜的生物量大。Liu^[37]等研究表明，植物有利于自然生物膜的富集和形成，植物—自然生物膜复合生态系统能够明显提高氨的去除率，去除率为54%—77%。苏刘选^[19]等利用竹丝生物膜反应器修复低污染景观水体，研究表明竹丝生物膜反应器在去除水体污染物有较高的去除率，其中对浊度、高锰酸盐指数总平均去除率为73.94%和48.50%。

笔者将植物—自然生物膜复合生态浮床应用于农村污染河道治理中，河道长300米。治理前，河道水体呈淡黄色的浑浊状、发黑发臭。分析检测数据知，水中富营养物质和有机污染物含量较高。水体中COD、氨氮和TP含量分别为58 mg/L、15 mg/L和1.65 mg/L。

如图1所示，复合浮床选用的挺水植物为菖蒲、再力花、美人蕉，沉水植物为狐尾藻，浮叶植物为凤眼莲。在河道中段布设30组植物—自然生物膜复合生态浮床。经过3个月的治理，监测结果显示，植物—自然生物膜复合生态浮床对河道污染物具有较好的去除效果，水体中COD、氨氮和TP去除率分别为83.7%、70.3%和83.3%。

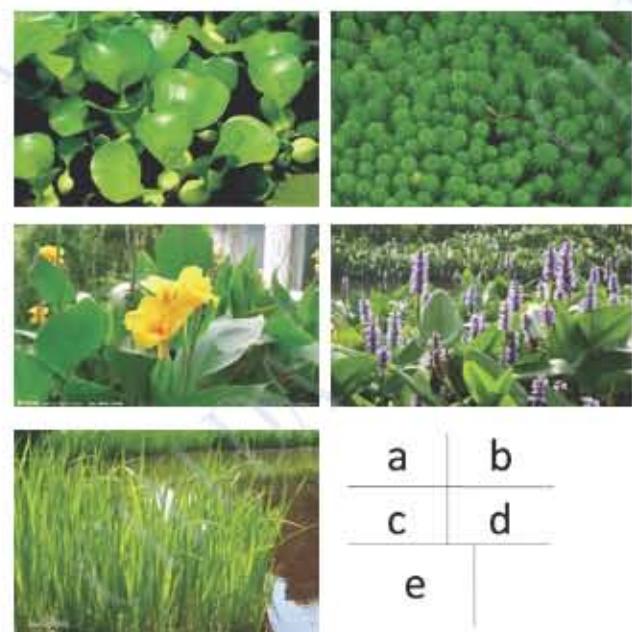


图1 浮床植物

(a: 凤眼莲; b: 狐尾藻; c: 美人蕉; d: 再力花; e: 菖蒲)

Table 1 Plants of the hybrid floating treatment bed (a: *Eichhornia crassipes* Solms, b: *Myriophyllum verticillatum* L, c: *Canna indica* L, d: *Thalia dealbata* Fraser, e: *Acorus calamus* L.)



图2 植物—自然生物膜复合生态浮床

Table 2 The hybrid floating treatment bed

3.2.2 植物—动物—微生物复合生态浮床技术

为了形成完整的生物系统，有学者在植物浮床下悬挂弹性填料固定微生物的同时，在根系投放水生动物，形成植物—动物—微生物复合生态浮床。刘海洪^[22]等以水生植物、水生动物和微生物为结构单元组成植物—动物—微生物复合生态浮床，分别在夏季和秋季对污染水体进行生态修复。结果表明，较传统浮床，植物—动物—微生物复合生态浮床对铵态氮、总氮、Chl-a、化学需氧量

的去除效果有明显提高，夏季的提高幅度分别为 22.6%、13.3% 和 13.7%，秋季为 19.5%、15.5% 和 20.4%。张毅敏^[34]等分别选择螺和蚌为水生动物，选择不同水生植物与之组合为符合生态浮床，结果表明，不同水生植物的复合浮床净化效果不一样，应该根据实际受污水体情况合理调整水生植物和动物的搭配方式。王国芳^[24]等比较单纯植物浮床、植物-微生物浮床、植物-动物-微生物浮床的净化效果，结果显示，人工介质能够提高浮床对氮、有机物的去除效果，水生动物促进有机颗粒物融化和无机物，促进氮的迁移转化，水生动物的引入增强了微生物的酶活和消化细菌密度。

3.2.3 梯级浮床与低位浮床

传统生态浮床主要针对地表浅层水体的净污效果较好，对较深层水体净化效果受到局限。为了使得浮床能够净化不同深度水体的目的，吴小慧^[38]等研发了以浮水植物、挺水植物、沉水植物为搭配逐级下沉的梯级生态浮床。目前该技术已经应用于黑臭水体治理，且取得了不错的效果^[39]。徐玉荣^[40]等利用梯级浮床治理城市黑臭河水，研究结果表明，系统对铵态氮具有较好的去除效果，去除率为 71.9%，总氮的平均去除率为 45%。徐欢^[39]则研究了梯级浮床对黑臭水体磷的去除效果，结果显示，浮床对磷有显著的去除效果，去除率高达 62.3%。同时指出，浮床对磷的去除效果受 pH、DO、温度等因素影响较大。吴小慧^[38]等研究梯级浮床对浮游植物的影响，指出经梯级浮床修复后，水中浮游植物种类、优势物种变化较大，其中绿藻门和蓝藻门所占比例明显下降。由此可见，梯级浮床作为一种生态友好型的浮床技术，已经广泛应用于黑臭水体等工程实践，并取得了不错的治理效果。

在水污染治理过程中，底泥作为污染源的汇往往容易被忽视。开发一种既能净化水体，又能净化底泥的浮床技术具有较好的应用前景。低位浮床技术在传统浮床的基础上加以改进，将支撑装置由水上漂浮改为水下固定是的植物根系贴近沉积物，起到固定及净化的效果。柳敏^[41]等使用低位浮床、人工曝气、生态砖、生态填料等技术集成，对扬州城市污染河道进行集成整治，结果表明，低位浮床

技术与其他技术集成能够更好的治理污染水体，可避免扰动底泥。

4 生态浮床的影响因素

随着生态浮床设计的不断创新及各种技术集成，人们发现，外界因素如温度、光照、溶解氧、微生物生境及酶活等因素对生态浮床的净化效果影响很大。

4.1 温度

温度能够影响植物的生长和自然生物膜的活性。温度过高会导致植物的光合作用降低甚至抑制，进而植物出现萎缩等现象。随之而来，植物泌氧能力下降，不利于微生物的硝化过程；温度过低时，植物会出现枯萎或死亡现象，自然生物膜的活性也会降低，不利于植物和自然生物膜对污染物的去除。目前，温度对生态浮床净化效果研究主要表现在 2 方面：

一方面是研究生态浮床净污效果最佳时温度。如罗固源^[42]等研究显示，温度对于浮床净污效果有着重要影响，系统对 TN、TP 的去除效果随温度的变化呈抛物线状。在 2°C ~ 29°C 范围内，净化效果随温度上升而提高。在 29°C 以上，净污效果随温度上升而降低，温度对 TN 去除率的影响高于 TP。

另一方面，许多学者针对极端温度下，如何保持生态浮床的高效净污效果。如汪秀芳^[43]等选择 10 种耐低温的水生植物，分成 4 个组合，研究冬季低温环境下生态浮床对富营养化水体的净化效果。结果显示，常绿水生鸢尾、羊蹄、金叶金钱蒲、反曲灯心草和蓝箭组合和常绿水生鸢尾、羊蹄、金叶金钱蒲和大苞萱草组合适应于冬季环境下水体修复。徐强^[44]等则对常绿水生植物进行筛选，以期发现可普遍运用于四季的浮床植物。陈生香^[45]等则研发发现了富贵竹可作为较好的热带浮床植物。

4.2 水体环境

气候变化、地理条件、水体波动、流速、DO、pH 等水体环境等都会影响生态浮床系统的运行和净污效果。浮床生态系统的运行需要一个稳定的环境，如果在一段时间内，水体条件发生剧烈的变动，会对系统产生很大的损害。如水体环境中含氧量过低，植物根系有氧呼吸作用受到抑制，容易发生根系腐烂。通常情况下，水生植物根系可以向水中泌氧，

而在实际工程中，可采用人工曝气以提高水体中的溶解氧含量。范子红^[46]等采用标准氧化染色法和正立荧光电子显微镜技术研究了美人蕉在自然、缺氧和好氧情况下的根部径向泌氧类型和特征、不同泌氧部位的空隙和泌氧屏障变化，以便于分析溶解氧对美人蕉浮床处理废水的影响。

同时，水体的浊度太高，透明度太低，会使水生植物根系呼吸困难，导致植物枯萎，甚至出现根部死亡等问题。一般来说，水体的水流情况也会影响浮床系统的运行，大风大浪不仅容易破坏浮床，而且会缩短水力停留时间，降低浮床的修复效果。和溶解氧一样，水下的光照条件同样对生态浮床，特别是生物膜浮床产生极为深刻的影响。

4.3 微生物

生态浮床对污水的净化效果很大程度上取决于其对水中过量的氮和磷的去除效果，而细菌的消化作用、反消化作用以及其对磷元素的聚集作用在这一过程中极为重要。罗佳^[47]等通过在巢湖的浮床研究指出，生态浮床挂膜后能有效提高水体中的总细菌、硝化细菌及反硝化细菌数量和群落结构多样性，且距离生态浮床越近总细菌和反硝化细菌数量和群落结构多样性越高，受到生态浮床影响越大。另外，人工投放微生物也可促进生态浮床对水质净化的效果，如冯燕^[48]等通过向香根草浮床处理的水体中投放适量的光合细菌使得 TN 和 TP 的去除率分别由 79% 和 80% 上升至 97.12% 和 91.67%。

5 展望

创新型生态浮床在植物、微生物和水生动物的协同作用下实现对受污水体的生态修复。创新型生态浮床技术不仅能够改善水质，而且能为野生动植物提供生息空间、改善景观效果。生态浮床的建设、运行成本较低，维护方便，经济效益好，在水污染修复中具有重要的推广应用价值。随着环境技术、生物技术和材料技术的不断发展，生态浮床的净化能力将会得到更大的提高。在水污染治理中，发展基于生态浮床净化黑臭水体的技术具有广阔的应用前景。

参考文献：

- [1] 金苗, 任泽, 史建鹏, 等. 太湖水体富营养化中农业面污染源的影响研究 [J]. 环境科学与技术, 2010, (10).
- [2] 王玲玲, 沈熠, 水体富营养化的形成机理、危害及其防治对策探讨 [J]. 环境研究与监测, 2007, (04): 33–35.
- [3] 吴洁, 虞左明, 西湖浮游植物的演替及富营养化治理措施的生态效应 [J]. 中国环境科学, 2001, 21(6): 540–544.
- [4] Hoeger, S., Schwimmkampen Germany's artificial floating islands [J]. Journal of Soil and Water conservation, 1988, 43(4): 304–306.
- [5] Tanner, C.C., T.R. Headley, Components of floating emergent macrophyte treatment wetlands influencing removal of stormwater pollutants [J]. Ecological Engineering, 2011, 37(3): 474–486.
- [6] Hwang, L., B. LePage, Floating Islands—An Alternative to Urban Wetlands, in Wetlands, B.A. LePage, Editor. 2011, Springer Netherlands. p. 237–250.
- [7] Hu, M.-H., J.-H. Yuan, X.-E. Yang, et al., Effects of temperature on purification of eutrophic water by floating eco-island system [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(6): 310–318.
- [8] Dong, Y., Z. Zhang, Y. Jin, et al., Nitrification performance of nitrifying bacteria immobilized in waterborne Polyurethane at low ammonia nitrogen concentrations [J]. Journal of Environmental Sciences, 2011, 23(3): 366–371.
- [9] Li, X.-N., H.-L. Song, W. Li, et al., An integrated ecological floating-bed employing plant, freshwater clam and biofilm carrier for purification of eutrophic water [J]. Ecological Engineering, 2010, 36(4): 382–390.
- [10] 李威, 陈晓国, 方涛, 组合生态浮床的水体净化效果与作用机理探讨 [J]. 水生态学杂志, 2012, (06): 76–81。
- [11] 南楠, 张波, 李海东, 等. 洪泽湖湿地主要植物群落的水质净化能力研究 [J]. 水土保持研究, 2011, (01): 228–231+235。
- [12] Ye, C., C.-H. Li, H.-C. Yu, et al., Study on

- ecological restoration in near-shore zone of a eutrophic lake, Wuli Bay, Taihu Lake [J]. *Ecological Engineering*, 2011, 37(9): 1434–1437.
- [13] Hadad, H.R., M.A. Maine, M.M. Mufarrege, et al., Bioaccumulation kinetics and toxic effects of Cr, Ni and Zn on *Eichhornia crassipes* [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 190(1–3): 1016–1022.
- [14] Gao, J., Z. Xiong, J. Zhang, et al., Phosphorus removal from water of eutrophic Lake Donghu by five submerged macrophytes [J]. *Desalination*, 2009, 242(1–3): 193–204.
- [15] 吴建强, 王敏, 吴健, 等 ., 4 种浮床植物吸收水体氮磷能力试验研究 [J]. *环境科学*, 2011, (04): 995–999。
- [16] 李文祥, 李为, 林明利, 等 ., 浮床水蕹菜对养殖水体中营养物的去除效果研究 [J]. *环境科学学报*, 2011, (08): 1670–1675。
- [17] 张文艺, 冯国勇, 张采芹, 等 ., 水生植物 – 菌藻 – 生物膜复合生态系统污染物去除特性 [J]. *环境化学*, 2013, 32(011): 2193–2201。
- [18] 宋姣, 周洲, 傅大放, 等 ., 三种新型浮床载体对微污染水体中氮的去除效果研究 [J]. *安全与环境工程*, 2013, 20(5): 67–73。
- [19] 苏刘选, 陈建中, 曹文平, 等 ., 竹丝生物膜反应器修复景观水体的研究 [J]. *昆明理工大学学报 (理工版)*, 2010, (01): 93–96。
- [20] 胡光济, 周灵, 侯浩波, 等 ., 淤泥生态浮床的构建及其对富营养化水体净化效果 [J]. *湖泊科学*, 2010, 22(5): 660–665。
- [21] 邬象军, 介绍一种新型的废水处理接触氧化充填材料——网状蜂窝填料 [J]. *煤矿设计*, 1997, (11): 44–48。
- [22] 刘海洪, 汪祥静, 吴磊, 等 ., 生物组合对浮床污染物净化效能的影响 [J]. *东南大学学报: 自然科学版*, 2011, 41(4): 784–787。
- [23] 周晓红, 王国祥, 杨飞, 浮床生态场空间分布特征 [J]. *生态学杂志*, 2011, 30(6): 1287–1294。
- [24] 王国芳, 汪祥静, 吴磊, 等 ., 组合型生态浮床中各生物单元对污染物去除的贡献及净化机理 [J]. *土木建筑与环境工程*, 2012, 34(4): 136–141。
- [25] 吴姬明, 李勇, 周超, 等 ., 生态浮床对水体净化效果及水动力特性影响的研究进展 [J]. *广东农业科学*, 2013, 40(9): 163–165。
- [26] 韩永和, 李敏, 植物 – 微生物联合修复技术治理水体富营养化 [J]. *水处理技术*, 2012, 38(3): 1–6。
- [27] 廖新莹, 罗雄鑫, 史静, 等 ., 自然生物膜对水体中磷浓度的影响研究 [J]. *环境科学导刊*, 2013, (04): 10–14。
- [28] 王逢武, 刘玮, 万娟娟, 等 ., 周丛生物存在下不同水层氧化还原带的分布及其与微生物的关联 [J]. *环境科学*, 2015, (11): 4043–4050。
- [29] Wu, Y., T. Li, L. Yang, Mechanisms of removing pollutants from aqueous solutions by microorganisms and their aggregates: A review [J]. *Bioresource Technology*, 2012, 107(0): 10–18.
- [30] Rosa, J., V. Ferreira, C. Canhoto, et al., Combined effects of water temperature and nutrients concentration on periphyton respiration – implications of global change [J]. *International Review of Hydrobiologia*, 2013, 98(1): 14–23.
- [31] 李艳蔷, 植物浮床改善城市污染水体水质的试验研究. 2012, 武汉理工大学。
- [32] Liu, Y., W. Chen, D. Li, et al., Cyanobacteria-/cyanotoxin-contaminations and eutrophication status before Wuxi Drinking Water Crisis in Lake Taihu, China [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2011, 23(4): 575–581.
- [33] 濮培民, 王国祥, 李正魁, 等 ., 健康水生态系统的退化及其修复——理论、技术及应用 [J]. *湖泊科学*, 2001, (03): 193–203。
- [34] 张毅敏, 高月香, 吴小敏, 等 ., 复合立体生物浮床技术对微污染水体氮磷的去除效果 [J]. *生态与农村环境学报*, 2010, (S1): 24–29。
- [35] Scinto, L.J., K.R. Reddy, Biotic and abiotic uptake of phosphorus by periphyton in a subtropical freshwater wetland [J]. *Aquatic Botany*, 2003, 77(3): 203–222.
- [36] Lürling, M., G. van Geest, M. Scheffer, Importance of Nutrient Competition and Allelopathic Effects in Suppression of the Green Alga *Scenedesmus obliquus* by the Macrophytes *Chara*, *Elodea* and *Myriophyllum* [J]. *Hydrobiologia*, 2006, 556(1): 209–220.
- [37] Liu, J., F. Wang, W. Liu, et al., Nutrient removal by up-scaling a hybrid floating treatment bed (HFTB) using plant and periphyton: From laboratory tank to polluted river [J]. *Bioresource technology*, 2016, 207: 142–149.
- [38] 吴小慧, 张丹, 黄民生, 等 ., 梯级浮床修复黑臭河道过程中浮游植物动态研究 [J]. *华东师范大学学报 (自然科学版)*, 2011, 1: 95–103。
- [39] 徐欢, 张勇, 黄民生, 等 ., 梯级生态浮床系统处理黑臭河水除磷性能研究 [J]. *华东师范大学学报 (自然科学版)*, 2011, 1: 119–125。
- [40] 徐玉荣, 张勇, 黄民生, 等 ., 梯级生态浮床净化城市黑臭河水中氮污染物的试验研究 [J]. *华东师范大学学报 (自然科学版)*, 2011, (01): 104–110。
- [41] 柳敏, 王如松, 蒋莹, 等 .. 原位生物技术对城市重污染河道底泥的治理效果 [J]. *生态学报*, 2013, (08): 2358–2364。
- [42] 罗固源, 卜发平, 许晓毅, 等 .. 生态浮床的去污效果与机理研究 [J]. *四川大学学报 (工程科学版)*, 2009, (06): 108–113。
- [43] 汪秀芳, 许开平, 叶碎高, 等 .. 四种冬季水生植物组合对富营养化水体的净化效果 [J]. *生态学杂志*, 2013, (02): 401–406。
- [44] 徐强, 李先会, 6 种四季常绿浮床植物脱氮除磷效果研究 [J]. *安徽农学通报*, 2013, (14): 99–101。
- [45] 陈生香, 闻峰, 尚旭, 等 .. 几种热带景观植物在不同水体中的去污能力比较研究 [J]. *热带作物学报*, 2010, (06): 1031–1036。
- [46] 范子红, 刘超翔, 溶氧条件对美人蕉和风车草根系泌氧特征的影响 [J]. *城市环境与城市生态*, 2011, (06): 14–17。
- [47] 罗佳, 韩士群, 严少华, 等 .. 生态浮床对巢湖双桥河口水体细菌群落结构的影响 [J]. *南京农业大学学报*, 2013, (02): 91–96。
- [48] 冯燕, 张慧, 浮床组合生物技术对湖泊富营养化水体氮磷去除效果试验研究 [J]. *昆明理工大学学报 (自然科学版)*, 2012, (01): 78–81。

作者简介:

王逢武 (1990–), 男, 助理工程师, 毕业于华东交通大学环境工程专业, 从事生态环境治理与技术研发工作。邮箱: 907393083@qq.com

郑健秋
中国水电建设集团港航建设有限公司 天津 300467



深圳茅洲河清淤及底泥处置工程简介

摘要:以深圳茅洲河清淤及底泥处置工程为对象,阐述污染河道底泥环保清淤及底泥的资源化处置方案。绞吸式挖泥船清淤及底泥脱水固结一体化技术的应用,实现了污染底泥处置的减量化、无害化、稳定化与资源化,降低底泥处置难度和费用,对环境不会造成二次污染,同时利废增效,实现可持续发展。最后提出环保清淤工程的展望及建议。

关键词:环保清淤;底泥处置;稳定化;资源化

Abstract: Dredging and sediment disposal project in Maozhou River of Shenzhen is considered as an object for expounding plans on environmental dredging of polluted rivers and recycling treatment. The integrative technology of cutter-suction dredging and mechanical dehydration is applied for realizing reduction, harmlessness, stabilization and recycling disposal for sediment and reduces the difficulty and the cost of the project. The technology ,which is good for recycling and achieving sustainable development,does not bring secondary pollution on environment.Finally,prospects and suggestions are put foward for environmental dredging projects.

Key words: Environmental dredging;Sediment disposal;Stabilization;Recycling

0 引言

茅洲河是深圳市第一大河,干流全长 41.61km,流域面积 388.23km²,在深圳市境内自东南向西北流经石岩、公明、光明农场、松岗和沙井等地。目前茅洲河流域内水体污染严重,干支流水质劣于地表水 V 类,水体黑臭,水生态环境亟待改善。为了提升茅洲河防洪排涝能力、提高城市居民生活品质、消减控制内源污染同时满足生态文明建设及国家和省水污染防治的战略要求,实施河道清淤及底泥处置工程刻不容缓。



图 0-1 处理前茅洲河干流淤积情况

1 工程概况

深圳茅洲河清淤及底泥处置工程共涉及到 17 条干支流及 2 个排涝工程。其中清淤范围为 2 条干支流,分别为茅洲河和沙井河,清淤量为 371.63 万 m³;底泥处理范围为茅洲河、沙井河、罗田水、老虎坑水、龟岭东水、塘下涌、沙浦西排洪渠、松岗河、东方七支渠、潭头渠、潭头河、新桥河、万丰河、石岩渠、道生围涌、共和涌和衙边涌 17 条干支流及桥头片区排涝工程、沙浦北片区排涝工程,底泥处理总量为 417.74 万 m³。清淤及底泥处置工程范围见图 1-1。



图 1-1 清淤及底泥处置工程范围图

2 清淤及底泥处置工程方案

河道污染底泥的清淤及处置的目的是去除污染底泥,改善水质,恢复生态系统稳定性。茅洲河流域(宝安片区)底泥清淤及处置工程技术路线概括为:“分区环保清淤、管道集中运输、集中压滤脱水、统一消纳处置”。

2.1 清淤工程

2.1.1 清淤的原则

污染底泥清淤为内源治理,是在城市黑臭水体综合整治中解决问题的有效工程手段之一,是黑臭水体综合治理的基础与前提。清淤一般是通过机械设备将污染底泥清除,清淤方案的选择则要根据黑臭水体的污染物组成、清淤量、水文气象及周边环境等因素综合分析确定^[1]。

2.1.2 清淤方案

茅洲河及沙井河河道治理区段较长,水文、地质条件变化大,对河道底泥清理、施工设备定位及底泥开挖精度控制要求较高。茅洲河及沙井河为城市河道,两侧居民区较多。为提高底泥清理效率和质量,减少施工过程中污染物的抛洒、扩散,控制黑臭气味的漫延和减轻施工扰民等问题,茅洲河及沙井河采用环保型绞吸式挖泥船为主进行环保清淤,底泥采用全程封闭的输泥管输送,其中茅洲河部分边角区域及沙井河狭窄河段采用两栖式挖泥船辅助清淤。清淤出的底泥均输送至底泥处理厂进行处置。清淤方案流程图见 2.1-1。

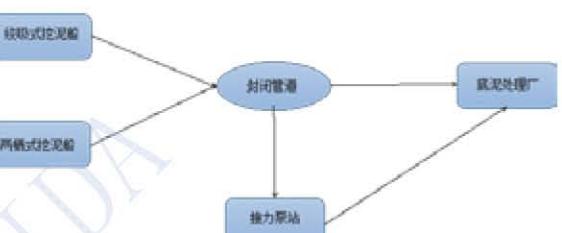


图 2.1-1 清淤方案流程图

绞吸式挖泥船(见图 2.1-2)装有环保绞刀头,配有导泥挡板和绞刀密封罩,将绞刀扰动范围内的淤泥有效封盖并通过泥泵充分吸入,防止底泥颗粒在绞刀扰动下向周围水体扩散,避免施工过程中造成二次污染,同时杜绝了逃淤现象,在保证精度的情况下环保地挖除河道污染底泥。

两栖式挖泥船(见图 2.1-3)具有灵活便捷的作业特点,可根据施工条件转换挖泥方式(挖斗式与绞吸式),清淤效率较高,对于河道边角区域及狭窄河段具有良好的清淤

效果。



图 2.1-2 绞吸式挖泥船 图 2.1-3 两栖式挖泥船

陆地输泥管线的铺设尽可能直顺,拐弯处力求平缓。水、陆管线相接处,采用柔性胶管连接,以适应潮差和水位的变化;吹泥管口搭接支架,防止施工过程中倒塌;水上浮管(见图 2.1-4)布设以“不长不短”为原则,即,管线不能过长,避免因为管线过长,增加挖泥船泥泵工作负荷,从而降低工作效率;亦不能过短,增加管线起锚、移位次数,降低挖泥船生产时间。同时设置接力泵站(见图 2.1-5),以保证长距离运输的连续性。



图 2.1-4 水上输泥管线 图 2.1-5 接力泵站

2.2 底泥处置工程

2.2.1 底泥处置的原则

清淤产生的底泥量大,含水率高,污染负荷重,处理不当容易对环境造成“二次污染”。底泥处理应坚持“减量化、无害化、稳定化、资源化”的原则。减量化是指分离出底泥中的水、砂、垃圾,降低底泥的含水率、含砂率,减少技术上的困难和经济上的压力;稳定化是指将底泥中易腐败的部分有机物分解转化、将其中的重金属元素钝化,由非稳定态转化为稳定态;无害化是指将底泥中的病原菌、寄生虫卵及病毒杀灭,提高底泥的卫生指标;资源化是指将底泥化害为利,通过各种管理和技术措施将其变废为宝,实现资源化利用^[2]。并在“四化”原则基础上科学合理设计,精心组织施工,提高工程质量。

2.2.2 底泥处置方案

针对河道底泥处置建有底泥处理厂(见图 2.2-1),底泥处置主路线采用机械脱水固化处理技术,由泥砂分离

系统、固液分离系统、均化调理系统、脱水固化系统、余水处理系统五大主体部分及洗砂、除臭、堆场等辅助系统组成,确保技术能够正常、稳定生产。底泥处置方案流程图见图 2.2-2。



图 2.2-1 底泥处理厂航拍图





图 2.2-11 砌块砖成品、陶粒透水砖、陶粒砖

2.2.4 余砂处置

余砂资源化利用可根据《河湖污泥处理厂产出物处理技术规范》(SZDB/Z 236-2017)指标及限值分为二级。一级余砂用于结构混凝土骨料；二级余砂用于一般混凝土或结构砂浆骨料。本工程产出的余砂用于其他工程管沟回填。



图 2.2-12 超磁净水车间



图 2.2-13 清水池

2.2.5 余水处置

余水池中的水含有氮、磷、重金属和有机物等污染物，污染物大多附着在细颗粒上，细颗粒比重小，易悬浮在余水中，很难沉降^[5]。本工程采用超磁净水设备（见图 2.2-12）进行处理，处理过程中经添加各种药剂对余水中固体悬浮物进行絮凝沉淀，沉淀物回排至沉淀池，达标的余水排入清水池（见图 2.2-13）进行循环利用或排入原河中。

3 展望和建议

环保清淤采用工程措施对污染底泥进行异位修复，是解决水体黑臭问题的有效工程手段之一，是一种经济有效且彻底的治理方式，为水生态系统的恢复创造条件^[6]。目前我国环保清淤项目不断增加，高效、安全、环保清淤及底泥处置是人们对日益增长的环保需求的体现，是社会可持续发展的重要需求。关于河道底泥的环保清淤及处置提出以下几点建议：

(1) 环保清淤首要任务是清淤设备的选择，面对更复杂的清淤环境，目前清淤设备正朝着大型化、自动化、标准化、专业化及多样化发展，在选择清淤设备时，要结合工程实际，根据污染物的粒径、组成、清淤量、周边环境、水文气象等因素综合分析后确定用清淤方式、清淤设备，

同时可采用先进的定位控制系统，提高清淤的精度，强化工程质量。

(2) 底泥脱水固结减量化、稳定化、无害化是环保清淤中的重点和难点。不同河段底泥特性存在差异，处理底泥前需对底泥特性进行检测，并结合项目实际，考虑占地面积、药剂成本、人员设备投入等因素，有针对性的选择最具经济效益和社会价值的脱水固结方式。同时吸收类似工程的先进技术，综合运用化学调理、机械脱水等技术，研究新型环保的底泥脱水工艺。底泥脱水固结产出余土需定期抽查检测，控制底泥脱水固结质量。

(3) 环保清淤疏浚底泥存量大、污泥重，资源化处置是其必由之路。资源化处置要适合生态环保、经济合理的要求。资源化利用要满足国家规定的行业标准，严格控制资源化产品的质量。同时应全面考虑余水、余砂、垃圾的处置，采取底泥处置“减量化、无害化、稳定化、资源化”的一体化工艺，加强技术创新，优化工艺流程，节省运行成本，强化资源利用，走出一条适合我国国情的环保清淤资源化的道路。

参考文献：

- [1] 彭秀达, 陈玉荣. 城市黑臭水体清淤疏浚及底泥处理处置技术探讨 [A]. 加强城市水系综合治理 共同维护河湖生态健康——2016 第四届中国水生态大会论文集 [C]. 2016.181-192.
- [2] 彭瑜, 赖佑贤, 黄锦城. 重金属污染底泥环保清淤与稳定化资源化处置技术 [J]. 水资源开发与管理, 2017 (2): 25-28.
- [3] 姚尚安. 污泥深度机械脱水与资源化利用研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2014.
- [4] 周小国, 伍秀群, 刘黎慧等. 河湖污染底泥脱水固结一体化处理处置技术及应用 [J]. 中国高新技术企业, 2014, 299 (20): 74-75.
- [5] 林莉, 李吉云, 吴敏. 河湖疏浚底泥无害化处理和资源化利用研究进展 [J]. 长江科学院院报, 2014, 31 (10): 80-88.
- [6] 杨晓龙, 练新. 环保疏浚底泥处置技术的研究进展 [A]. 加强城市水系综合治理 共同维护河湖生态健康——2016 第四届中国水生态大会论文集 [C]. 2016.60-69.

作者简介：

郑健秋 (1993-)，男，毕业于三峡大学水利与环境学院，水利水电工程专业。现从事茅洲河清淤及底泥处置工程的质量管理工作，职务：质检员。

江益波¹, 乔威²

¹上海交通建设总承包有限公司 200136

²上海交通建设总承包有限公司 200136

PHC 管桩沉桩桩位控制要点分析研究

摘要：当前，PHC 管桩作为许多港口码头、水上平台、桥梁等大型混凝土结构工程的下部支撑性构件，其沉桩施工质量对于上部结构影响是不容忽视的，甚至关系到整个工程的稳定运行。本文将以芜湖港朱家桥外贸码头二期工程 PHC 管桩沉桩施工为例，结合现场实际工况，对影响沉桩桩位因素进行分析，归纳总结出一套有效控制沉桩桩位的措施，以期对类似工程施工提供借鉴参考。

关键词：测量定位；正位率；岩层变化；预留量

Abstract: At present, PHC piles are selected as supporting member by a lot of ports, water platform, bridges and other large concrete structures, the pile construction quality can not be ignored for the effect of superstructure, or even related to the stable operation of the whole project. This paper will take the Wuhu port Zhujiqiao foreign trade wharf PHC pipe pile construction as an example, combined with the actual working condition, then analysis the influence of pile sinking factors, sum up a set of effective measures of the pile sinking control, hoping to provide references for similar engineering construction.

Key words: Measurement positioning; Orthotropia ratio; Strata change; Reserve amount

桩过程中受抛石挤压，抛石层贯穿困难。因此，沉桩施工前通过挖泥设备对沉桩区域进行挖泥削坡，清除原有抛石层障碍，可大幅提高沉桩施工第一步下桩阶段的效率及桩位精确性。在挖泥削坡后沉桩施工前，还可对开挖后的岸侧进行简单的木桩或钢板桩加固，防止因原有抛石的清除，加之桩船锤击产生振动，而使岸侧土体滑坡影响施工。

5.3 调整钢桩靴与混凝土管节的长度

由于沉桩区域岩层厚度较大，桩尖提前到达持力层，因此在设计方进行积极沟通之后，并重新经过承载力验算，决定采取调整钢桩靴与混凝土管节长度的措施来解决此难点。即适当缩短混凝土管节长度，同时加长钢桩靴，在既满足桩身承载力要求的前提下，又提高了桩尖进入持力岩土层的能力，从而有效解决了锤击最后几阵桩身无法继续下沉，桩身容易偏位的难题。

5.4 下桩前预留偏移量

根据前期的沉桩资料进行整理和分析，总结桩位的跑偏特点：桩体上下游偏位极少，而垂直于岸线方向上，桩位跑偏一般呈现向江侧跑位，并且偏位普遍超过设计允许值5cm上下；因此，可结合地质勘察资料，在岩土层阶梯状变化较为明显的沉桩区域，判断偏位可能产生的方向，打桩船下桩时往相反方向设定某一预留量，用以抵消桩尖触及阶梯状岩层时产生的偏位。

6 措施效果

后续沉桩施工过程中，测量人员、桩船操作人员等严格按照上述几点关键性措施知道控制沉桩桩位。整个工程PHC管桩450根，前期已沉90根，后续360根经过统计汇总后，得到采取措施之后的新沉桩偏位值统计如下表3：

表3 措施实施后沉桩偏位值统计表

偏位值(cm)	桩数(根)	所占比例	累积比例
<8	320	89%	89%
8~10	30	8%	97%
10~12	10	3%	100%
12~15	0	0%	100%

作者简介：

江益波(1989—)，男，助理工程师，湖北黄冈人，本科学历，毕业后主要从事港口航道与水工结构工程管理工作。

通过上表，措施采取后，沉桩施工桩位偏差合格率为97%，达到96%的设计要求，并且桩位偏差8cm以内的比例为89%，远大于措施前的78%；不仅如此，通过采取一系列关键措施之后，避免了12~15cm较大偏位现象的出现，沉桩施工质量得到了大幅提高：对整体450根桩进行评定，合格率 $(320+30+70+14)/450=96.5\% > 96\%$ ，桩位整体评定合格。

措施采取前后桩位合格率柱状效果对比如图4所示：

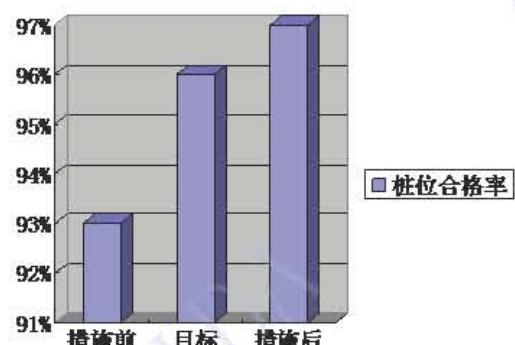


图4 措施采取前后效果对比柱状图

7 结束语

高桩梁板式码头作为内河及沿海港口最为常见的结构形式，以其施工效率快，结构耐久性强而被普遍采用，在当前高强度预应力混凝土管桩制作技术日益成熟的背景下，PHC管桩其自身强度质量已不再是影响下部支撑结构稳定的主要问题，反而在沉桩过程中如何控制桩位偏差到成为了制约码头整体结构稳定性关键性难题。本文结合工程实例，因地制宜地总结出一套在复杂岸坡及岩土层条件下有效控制沉桩偏位的措施，顺利解决了前期沉桩施工偏位过大难题，保证了后续施工的顺利完成。实践证明，措施效果明显，切实可行，以期为今后类似工况条件下的沉桩施工提供借鉴。

参考文献：

- [1] 王国平，浅析如何提高水上沉桩正位率，中国水运，2013年第9期。
- [2] 徐康如，高桩码头沉桩质量控制，港工技术与管理，2010.2。



张雪娇

中国水电建设集团港航建设有限公司 天津 30000

浅谈边坡生态修复技术

摘要：植被混凝土生态防护技术作为一种针对岩石边坡防护和绿化而开发的边坡生态防护技术，在边坡生态修复中得到了广泛的应用和发展。它将边坡裸露部分加固并与坡面的植被恢复结合起来，实现了生态修复与工程边坡的有机结合，解决了基础建设与生态环境结合的重大难题^[1-2]。

关键词：边坡生态修复技术；植被混凝土

Abstract: Vegetation-concrete ecological protection technology designed for rock slope protection and virescence has been widely applied and developed in slop ecological protection. The technology reinforces the exposed area of the slop and achieves the revegetation of the slope. Not only dose the technology realize the combination of ecological recovery project and slope engineering but it solves the difficult problem of the integration of infrastructure and the ecological environment.

Key words: Slop ecological protection technology;Vegetation-concrete

0 引言

基础工程建设造成的不良影响，制约了社会经济的可持续发展，对人类生存和社会发展构成了威胁，而此类问题仅靠植被的自身恢复能力是难以解决的，如不尽快进行人工生态治理，将导致生态破坏程度进一步加剧，最终难以实现经济与环境的可持续发展。

1 边坡生态修复必要性

1.1 宏观政策需求

“十五”以来，国家加大了对水电、公路、铁路等基础设施建设的投入，众多大型建设项目的实施，在人力或机械的介入下，不可避免地对工程所在地造成巨大的工程扰动，大规模的改变了地表结构，破坏了生态系统的空间连续性，对生态系统造成了强烈干扰，植被遭到大量的破坏，次生裸地伴随出现，进而导致工程扰动区内出现生物多样性降低，水源涵养能力下降，水土保持功能丧失等一系列的生态环境问题，严重影响工程扰动区及周边的环境、景观及可持续发展。

1.2 水土保持需求

植被具有显著的水土保持功能，这种功能所产生的巨大作用，使林草植被建设在防治土壤侵蚀和控制水土流失的各项措施中，成为一项长远且有效的根本性措施。林草植被建设是融生态、经济和社会效益于一体的人与自然协调发展的生态工程，越来越受到人们的重视。像任何其他事物一样，植被能够保持水土存在其自身的内在规律以及特征，只有弄清这些规律及特征，并总结相关的研究成果，才能在总体上把握植被在时间上和空间上保持水土的能力，进而阐释它对外界作用因素的影响，这对客观分析和评价植被的作用和效果、正确制定和实施水土保持政策具有及其重要的意义。

1.3 生态保护需求

中国作为当今世界上生态破坏最严重的国家之一，恢复和重建受损生态系统显得更加迫切。我国当前正在进行西部大开发，既要发展区域经济，又要保护当地生态环境，必须将经济开发与生态治理有机结合起来。在认为合理干扰下，充分利用生态系统的自我修复功能，达到经济发展

与生态环境的协调统一。因此，重视并开展生态修复研究具有十分重要的现实意义。

2 边坡生态修复研究进展

2.1 边坡生态修复技术的发展

边坡生态修复可定义为：用活的植物，单独用植物或者植物与土木工程和非生命的植物材料相结合，以减轻坡面的不稳定性和侵蚀。国内也有边坡生态防护、植被护坡、植被固坡、生态修复，坡面生态工程等名称。边坡生态修复的雏形是植被护坡，最初用于河堤护岸以及荒山的治理。1591年，中国最早将柳树等应用于河岸边坡的加固与保护。17世纪利用植被护坡技术保护黄河河岸。1633年日本学者采用铺草皮、栽树苗的方法治理荒坡，直至20世纪30年代，这种生物护坡方法首次被引入中欧，并在欧洲推广应用。1936年北美开始应用植被护坡技术，并借鉴中欧的经验致力于与农林业和道路建设相关的土壤侵蚀控制。20世纪50年代美国Finn公司开发出喷播机，实现了边坡植被恢复与重建的机械化，随后英国发明了用乳化沥青作为粘结剂的液压喷播技术，至此边坡植被与重建的技术飞速发展。

国内常见的边坡植被重建方法根据实施手段的不同，可分为点播法、铺挂法和喷播法。其中，关于岩石边坡的植被重建技术，通过技术鉴定并获得科技进步奖项的有TBS植被护坡技术、植被混凝土生态防护技术、植生基材喷射技术（PMS技术）等，国内的应用也以这几种技术为主。

3 边坡生态修复技术在工程中的应用

边坡生态防护技术目前已广泛应用到水利水电工程、市政工程、公路工程及矿山工程、航道工程等领域。植被混凝土生态防护技术作为一种针对岩石边坡防护和绿化而开发的边坡生态防护技术，在边坡生态修复中得到了广泛的应用和发展。它将边坡裸露部分加固并与坡面的植被恢复结合起来，实现了生态修复与工程边坡的有机结合，解决了基础建设与生态环境结合的重大难题。

以青岛中德生态园山王河改造工程两岸护坡为例进行详细说明。

3.1 山王河改造工程概况

山王河发源于青岛红石崖街道灵雀山、大顶子山一带，主要承担中德生态园中部区域的防洪排涝任务。由于该段河道现状与规划昆仑路冲突，且昆仑山路已实施，故将该河道进行治理。

3.2 工程施工中体现的生态工程理念

山王河改造工程（如图1）设计的主要内容包括了河道生态护岸、挡墙护岸工程、护岸以上土坡植草绿化。其中的河道生态护岸、护岸以上土坡植草绿化运用了边坡生态防护技术（如图1）。

3.3 施工方案及要求

山王河河道采用梯形断面，底宽6m，两侧边坡1:2，采用垒砌生态袋护坡（如图1.2），种植草皮护坡。

（1）施工前按图纸设计要求对边坡进行回填，夯实，整平。

（2）在河道两岸铺设一层土工布，再做厚度为200mm的碎石垫层。

（3）生态袋护坡设计坡比为1:2，单个袋子的尺寸为35×15×60cm，底部设有格宾石笼基础。

（4）每个袋子均用连接带与相邻的生态袋进行连接，使整个坡面形成一个整体。

植物根系的相互连接可使袋体随时间的推移越加稳定。生态袋（如图2）选用高分子环保材料，具有保土透水功能以及良好的固土能力，植物根系通过植生袋生长到基层土壤中，从而实现边坡的稳定。



图1 山王河改造工程



图2 生态袋

3.4 施工实例照片



图3 施工前



图4 施工后

3.5 山王河改造工程经验总结

工程结束后，河道进行开闸放水，坡面下部的生态袋由于长时间浸泡在水中，导致了植被种子不能萌发，对此次工程改造产生了严重损失，总结此次工程经验得出，植

被种子的萌发与成活对整个生态修复技术的影响尤为重要，在工程实际中要结合自身工程条件，对坡面不同区域要选取不同的植被种子，山王河改造工程中坡面下方应选取能适应水生生活的藻类植物，由于河水随季节的变化河床高程会略有不同坡面中部应选取能适应水—陆生活的草种，考虑到施工成本，坡面上部则可以选择普通的、成活率高的草种。

4 边坡生态修复技术发展前景

结合国内外研究现状以及目前尚需解决的问题，生态修复研究的发展趋势可归结以下几点：

(1) 工程防护与植被防护的有机结合。工程护坡的不足之处是缺乏生态效果，但是能为边坡提供支撑加固措施，使之做到深层稳定和浅层稳定，为植被生长提供稳定的立地环境。特别是在高陡边坡植被防护与工程防护有机结合尤为重要。

(2) 景观效果设计。目前国内植被护坡发展趋势是不满足于单一品种的植草绿化，而是选用多品种结合综合景观效果。正因为如此，植被护坡的景观设计应运而生。

(3) 植被护坡的区域性。不同的区域气候条件不同，植被群落不同。不同的岩土，土壤特性不同，提供给植物生长的条件不同。针对不同区域的不同岩土，应研究适应的土壤改良措施和种植混合基材配方，保证植被护坡的效果，又降低工程造价。植被护坡工程应针对当地气候和土壤特性，选择适应的土壤改良措施和经济合理的种植混合

基材配方。

(4) 优势植被群落品种选育及组合应用。植被群落组成成分越复杂其多样性指数越高，抗干扰能力越强也越稳定，其中的优势种对地带性的生态条件有最好的适应性。边坡植被护坡技术应用的植被类型应以优势乡土植物为主，尤其是自然条件下对岩石刨面生境具有良好适应性的一类植物，应用这些乡土植物比起购买昂贵的草坪或牧草草种，经济投入低，而且后期管理费用低，并可与周围环境融为一体。

(5) 边坡植被护坡工程设计原理及方法的完善。生态工程的设计和实施要按照生态工程的原理，特别是整体、协调、自生、循环、因地制宜原则，在少量人类辅助功能的帮助下，以生态系统自我组织、自我调节功能为基础。边坡植被护坡工程首先应将防止水土流失、确保坡面稳定等放在首位，在设计上应以植被生态系统长期稳定为宗旨，这是一种取代传统设计的新途径，其目的就是要创造更自然的生态景观，提倡用种群多样、结构复杂、和竞争自由的植被类型，发挥其生态环境保护功能。

参考文献：

- [1] 吴钦孝, 赵鸿雁. 植被保持水土的基本规律和总结 [J]. 水土保持学报, 2001, 15 (4): 13-15.
- [2] 许文年, 王铁桥, 李建林, 等. 清江隔河岩电厂高陡混凝土边坡绿化技术研究 [J]. 水利水电技术, 2003, 34 (6): 43-47.

作者简介：

张雪娇 (1992-) , 女, 助理工程师, 山东莱阳, 工学硕士, 水利水电工程专业。



周林¹, 万权², 付光进³

中国水电建设集团港航建设有限公司

9029 绞吸式挖泥控制系统 (DCS) 应用

摘要：荷兰IHC9029绞吸式挖泥船为世界上先进的疏浚设备，配备了一套挖泥控制系统，通过电脑实现对机械设备的实时监测以及具体施工操作的自动控制，能够有效提高疏浚效率以及疏浚质量，使挖泥船达到半自动化操作。本文主要介绍挖泥控制系统的相关应用。

关键词：挖泥控制系统; DTM; DPM; DTSP; SCADA; 半自动化操作

Abstract: Equipped with an advanced dredging control system (DCS), IHC 9029 Type Cutter Suction Dredger is a state-of-the-art dredging equipment worldwide today. real-time monitoring for dredger and automatic control for specific operation shall be achieved through DCS, which could effectively improve the dredging efficiency and quality. The article mainly introduced the related application of DCS in IHC 9029 type cutter suction dredger.

Key words: DCS in IHC 9029 type cutter suction dredger; DTM; DPM; DTSP; SCADA; Semi-automatic operation

1 系统组成

9029 绞吸式挖泥控制系统 (DCS) 为荷兰 IHC 集百年疏浚经验编制的专门用于疏浚施工的系统，自动化应用程度高。其重要组成部分有：DTM (Digital Terrain Model 数字地面模型)、DPM (Dredged Profile Monitor 挖泥剖面显示)、DTPS (Dredge Track Presentation System 挖泥轨迹显示系统)、SCADA (监控和数据采集系统)。此挖泥船控制系统与普通挖泥船的挖泥系统相比，能更加准确的时时控制绞刀位置，使挖泥船达到半自动化操作。

2 新建项目

当挖泥船到达一个新工地后，首先需要创建一个新的项目数据库，新项目可以从零开始创建然后对 19 个项目向导进行设置，也可以复制原工地所使用的数据库，然后对“大地测量”(Geodesy)等项目进行重置，达到满足现工地施工需求的目的。

“大地测量”是将来自不同感应器的坐标转换成投射的方式，即在地图上的位置，正确的大地测量投影参数对于得到好的 DTPS 结果非常重要，参数使用手持 GPS 求得并输入数据编辑 (Datum Editing) 窗口，然后校准检查，存在较小的固定偏差则手动修正。

3 工程制图

DTPS 的作用是计算挖泥船的当前坐标，然后用 2D 的形式表现出来，用于监视整个施工过程。DTPS 使用之前需进行工程制图，包括：CAD 底图制作及导入、DTM 模型建立、中心线制作。

CAD 底图制作及导入：CAD 底图是施工参考线，是具体施工方案的一种体现形式。首先，选用正版 CAD 软件生成的图形；然后，根据设计图将具体开挖线制作好，并进行全局分解多段线，保存最低版本 R12/LT2 DXF；最后，将 DXF 文件存入 chartfiles 文件夹，打开软件单击 chart → convfile Format → File → open → dxf 底图 → save (会自动生成 dch 格式文件) → manage → add → select (生成的 dch 文件) → OK → 把以前的 dch 文件删除 → close → 选中 dch 文件

→ begin → start，完成底图导入。

DTM 模型建立：DTM 模型是通过测量数据生成的地 形模型，并根据开挖情况实时更新地形，可以很直观的 反应任何区域的水深情况以及开挖情况。生成 DTM 选 用 XYZ 文件时，选用高程模式，水上多波束测量点间距 1m、陆上 RTK 测量点间距 5m 为宜。首先，将 xyz 文件 存入 Matrixdata 文件夹；然后，Design → open(xyz) → M atrix → createDTM → Finish → OK → Matrix → save DTM → 保存为 mtr 格式文件；最后，chart → Depth matrices Manage → add → add → select → mtr 文件 → OK → OK → 双 击 Available depth matrices 中新添加的 mtr 文件 → 选中 selected depth matrices 中添加的文件 → close → depth matrices 选中文件 → begin → start。

中心线制作：自动开挖时，断面设计等参数设置都 是以中心线为依据，分直线中心线和曲线中心线。直线中 心线是最常用的，在 CAD 图上沿着矩形开挖区域中心选定 一条线作为中心线，在系统 design 里面设置，set → new base line → edit base line，将需要的中心线的两个端点 的坐标输进去即可，然后保存并添加进系统。当开挖区域 为圆弧形时，直线中心线已经不能满足具体施工需求，曲 线中心线能够有效保证开挖精度，具体制作方法为：首先 在 CAD 图里面确定弧线中心线，然后在弧线末端画圆弧的 切线，在 edit base line 输入弧线起点、终点和切线的另 一端点，即 1、2、3 点，在 1、2 点之间单击右键创建一 个点并定义为中心点，双击该中心点弹出对话框将坐标改 为该圆弧的中心点坐标，确认后随即生成圆弧中心线，保 存并录入。

4 施工应用

施工应用主要是对 SCADA 的运用，SCADA 程序首先通 过本地硬连接逻辑继电器，控制为手动或自动模式，自动 模式下，挖泥控制系统基于控制过程的条件、参数、次序 自动进行，此时手动控制将不起作用。SCADA 主页面结构 如下：

挖泥剖面显示 (DPM)：主要功能是计算绞刀的深度



和挖泥船的位置，并用绞刀头模拟切削土壤并实时更新开 挖断面。以 DTPS 现阶段使用的中心线为依据，进行实际开 挖断面的制作；挖泥船位置、传感器数据均在这里通过计 算并显示，这些数据的正常与否直接关系着开挖质量，需 要进行细致检查并校核。

绞刀自动控制 (ACC)：根据绞吸式挖泥船的施工原 理，挖泥过程对施工效率起决定性作用，绞刀自动控制 系统包括三个独立的控制功能：动作控制、产量控制、 泥浆泵送控制。动作控制为对横移速度、桥架起落、台 车步进等的控制；产量控制是对变化的过程自动控制， 如控制绞刀转速减少切削土体颗粒、控制横移速度保持 产量均衡等；泥浆泵送控制为控制泥泵转速，通过计算 排泥管中泥浆的最大允许平均密度，对泥浆流速预先控 制。绞刀自动控制另一重要功能为，当绞刀发生故障时， 可以通过绞刀自动控制诊断模式故障原因，减少机械故 障判定时间。

液压系统 (Hydraulic System)：主要为定位杆液压系 统的原理以及相关诊断。

泵系统 (Pump)：开工之前需要对管线长度、泥泵使 用情况、产量计土密度进行设置，施工过程中，能直观的 显示泥泵的运转情况，产量曲线能直接体现生产效率。泵 状态能够准确显示泥泵的各项运行情况，当不具备泥泵启 动条件时泥泵将无法启动。

定位杆系统 (Spud system)：对定位杆的工作原理进 行陈述，以及工作状态下需要具备的条件。

历史记录 (History)：历史记录数据完整，能对过 去所有的船舶施工参数进行详细记录。其体现形式为以 时间为 X 轴、各项参数为 Y 轴生成数据曲线，在同一窗口， 可以在“有效的点”选项中调取一个或多个需要的历史 曲线，通过曲线对比，能够分析挖泥船的生产情况、设 备运行情况，发觉能够提高产量的相关施工操作，然后 改进达到提高挖泥船效率的目的；若发生施工事故，则 可以根据历史数据分析事故原因，并在后续的施工过 程中加以防范。历史记录功能能够对疏浚施工起到很好的 监管作用，对提高施工技术、总结施工经验等方面具有 很高的实用价值。

5 结束语

9029 绞吸式挖泥控制系统具有很高的实用价值，能够 实现对船舶整体运行情况的监控并能故障诊断，自动开 挖有效的解决了人工开挖带来的操作误差，施工效率比正 常手动开挖提高了约 30%，挖泥船操作系统的出现，使挖泥 船向着完全自动化施工迈出了坚实的一步。

参考文献：

- [1] 挖泥控制系统操作手册，荷兰 IHC。
- [2] 挖泥轨迹显示系统操作手册，荷兰 IHC。

作者简介：

周林 (1985—)，男，辽宁抚顺人，工程师，毕业于大连水产学院港口航道与海岸工程专业，工程学士，孟加拉河 道整治项目副经理，主管项目挖泥船生产技术。



杨程鹏
上海交通建设总承包有限公司 200136

复杂工况下的袋装砂斜坡堤施工特点分析

摘要: 袋装砂斜坡堤在未形成设计断面前, 堤身较为脆弱, 施工风险大。南汇东滩促淤一期工程部分堤段采用袋装砂斜坡堤结构型式, 带有一定的实验目的。工程实施过程中, 为应对复杂工况条件, 采取了有针对性的解决措施, 效果较好。

关键词: 袋装砂促淤堤; 复杂工况; 施工特点

Abstract: Sand bag embankment slope before did not form a design fault, body is relatively weak, large construction risk. Promote nanhui east beach silting in a phase of the part of some use bagged sand mound breakwater structure, with a certain experimental purposes. Project implementation process, to cope with the complex conditions, has taken targeted measures, the effect is better.

Key words: Sand bags for silt dam; Complicated conditions; Construction characteristics

1 概述

南汇东滩促淤一期工程尝试使用袋装砂斜坡堤进行促淤, 工程有机结合了两种类型的结构型式: 东堤、隔堤采用传统抛石斜坡堤结构断面, 南侧堤采用袋装砂斜坡堤结构型式。

南侧堤堤身将分两个阶段进行实施, 前期阶段构筑的堤身断面仅为后续大堤整体的一部分(具体情况见图1), 这种分步实施工程方案, 带有一定的试验色彩。本文以先期实施的南侧堤堤身结构为主要研究内容, 重点分析复杂工况下袋装砂斜坡堤的施工特点。

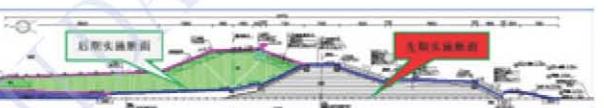


图1 南汇圈围工程大堤典型断面示意图

2 南侧堤施工条件分析

2.1 工程自然工况条件复杂

1、施工区域地理位置特殊

工程位于长江口、杭州湾、东海三股水流交汇处、流态复杂, 越靠近杭州湾, 水流条件越差。南侧堤处于工程最南端, 区域滩高水浅、开敞无掩护, 工况最复杂, 最恶劣。

2、施工区域自然气候条件复杂

南汇嘴地区冬季、早春季节寒潮天气频发, 夏季台风和高温因素影响大, 区域内气象、潮汐、风浪等自然条件复杂, 对施工影响尤为严重。仅以2013年开工后9个月内气象情况为例: 有效作业天数仅为58.5%, 远低于预期值(70%有效作业系数)。

表1、现场不利天气影响情况统计表(2013年4~12月)

序号	月份	风浪影响停工天数	主要原因
1	4月	8天	(4月13日开始统计)大风及涌浪影响
2	5月	14天	大风及涌浪影响
3	6月	11天	主要受6月7~10日大风天气影响
4	7月	17天	受7#台风苏力影响

5	8月	16天	受12#台风潭美及15#台风影响
6	9月	14天	受17#台风桃芝及大风影响
7	10月	14天	受双台风菲特、丹娜丝及大风影响
8	11月	10天	受寒潮及大风影响
9	12月	10天	受寒潮及大风影响
合计		114天	总天数275天, 影响天数比率为41.5%

3、砂源供应困难

南侧堤堤身填筑工程量近100万m³, 占促淤一期工程总用砂量的61%。受多重因素的影响, 砂源供应成为影响南侧堤实施的关键因素。

(1) 工程指定砂源地砂质标贯击数大, 俗称铁板砂, 常规设备难以完成吸取作业, 采用吸、吹工艺不具备作业可能性;

(2) 工程区域滩高水浅, 天气状况复杂恶劣, 常规的吸、运、吹工艺施工难度大, 效率低。同时工程外围社会环境复杂, 船舶进场条件限制严格, 要求高, 机具组织难度大; 外来砂砂源地取砂方式受市场、社会、自然天气环境影响严重, 来源组织供应不稳定, 限制大。

2.2 工程断面结构独具特点

1、堤顶高程较低

先期施工大堤堤顶高程低, 设计高程仅+6.0m, 袋装砂顶高程不足+5.4m。堤身结构未完工前, 恶劣天气来临, 堤身极易越浪, 易发生破坏。



图2 南侧堤大风前景象



图3 南侧堤大风中场景

2、堤身断面 +3.0m 以下工程量比重大

据堤身断面数据, +3.0m以下体积占总体积比重超过80%, 土方实施难度大; 下部结构项目多、比重大(以混凝

土为例：+3.0m以下现浇砼占总量57%），施工易受潮汐、风浪影响。



图4 成型后的堤身断面



图5 受影响破坏后的堤身

3、堤顶宽度小，且无回车墩，后续结构施工期间交通通行条件差

堤顶宽度较窄，设计宽度为仅7m，结构施工过程中，供车辆通行的堤顶道路宽度不足5m，回车困难，单线布局的堤身交通容量小、容易发生堵塞现象。

2.3 工程强度大，管理压力大

1、阶段施工强度大

南汇工程阶段实施强度大，尤其是2013年年底土方施工阶段和2014年上半年结构施工阶段施工压力相当大，日均土方需要超过1万m³，日均混凝土需求超过1000m³。

2、安全风险多，管理压力大。

施工期间，由于人员多（高峰期达800余人），流动大、施工机具多、现场作业点多面广、参建人员安全意识参差不齐，日常安全管理任务重、难度大。

工程水上作业条件差，施工区域位于避航区，范围广，离岸远，施工船舶多，高峰期现场仅运输船舶达57艘，航线远，航线需横穿大桥、航道等复杂水域，船舶安全管理风险大。

工程区域场内外交通条件均较差：进场海塘道路道路狭小，弯道急；场内交通道路路况差、宽度狭窄，线路单一，现场车辆通行安全隐患多。

3 南侧堤施工应对措施

3.1 组织措施

1、加强前期总体规划作用

由于前期重视工程总体规划，合理布置现场安排，依

次制定了绞吸取砂、泥库供砂，现场自拌、分段施工等施工方案，满足工程施工需求，工程整体施工目标受控。



图6 南侧堤开工前期场景



图7 南侧堤完工后场景

2、因地制宜，分段施工：根据现场条件，合理分区，加快流水施工推进速度。



图8 现场施工分段示意图

3、通过沟通，采用自拌砼

施工中，充分利用泥库等既有设施设置施工平台进行自拌，共搅拌混凝土3万m³，减少外供混凝土近3000车，降低了场内道路交通压力。

4、加强安全管理，确保施工顺利

(1) 严格船舶准入、加强船舶监控

开工前，为船舶制定临时航线航路图，布设水上警示标志，做好安全技术交底工作。施工中选用抗风浪能力强、配备AIS监控系统的施工船舶；在项目部设置调度中心，使用船舶AIS自动识别系统监控终端，实时监控所有施工船舶，并采用“五点控制法”进行船舶动态管理，规范船舶的航行、锚泊、施工作业，最大程度确保船舶水上航行安全。



图9 航线航路图



图10 五点控制法

(2) 采取多重措施确保陆上施工运输安全

通过采取“制定现场通行安全规章、于关键路段设立警示标牌、在入口处设置岗亭加强道路疏导、铺设临时道路、加强现场巡查巡视”等相关措施，确保了陆上运输安全，效果显著。

3.2 技术措施

1、选用合适船机设备

工程实施过程中，选择抗风浪能力强、综合性能优越的多功能工程船舶及吊机船以满足现场的作业需求。先后组织安排交一、交二、交七、交四、普工63#、江源168#等性能好、适应力强的船舶进场施工作业，降低风浪影响，提高现场作业效率。

2、采用泥库施工方案确保砂源供应

通过多方案对比分析，南侧堤最终选用大型绞吸船取砂+泥库备砂+大型泥浆泵取沙充填的施工工艺进行土方施工。工程结果证明，该工艺是在铁板砂地质条件下的最合理方案，极大地降低了工程的施工风险，为工程的顺利推进提供了有力保障。



图11 南侧堤泥库施工方案实施流程图

开工前期，在南侧堤堤身中部区域构筑了一个离岸泥库，作为主泥库；工程施工过程中，为加快进度，满足工程需要，在南侧堤近岸段堤根部构筑了第二个泥库辅助施工。



图12 南侧堤及泥库平面布置图

(1) 远岸段泥库（主泥库）

主泥库位于南侧堤NC2+300-NC2+700北侧（滩地高程约-1.0m），距指定取砂区350m。

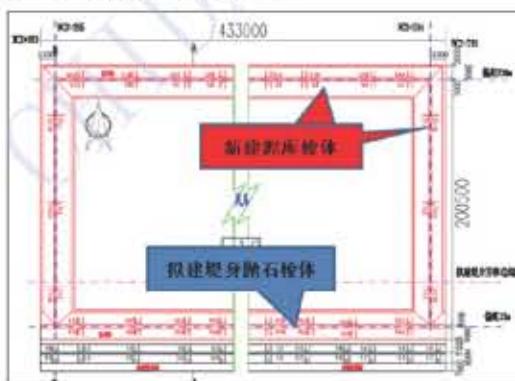


图13 主泥库典型平面布置示意图



图14 主泥库典型平面航拍图

远岸段泥库东西向布置，面积约为200m×400m。单仓布置。



图15 主泥库典型断面示意图

(2) 近岸段泥库（副泥库）

副泥库位于南侧堤堤根部(NC0+080~NC0+280),南北向布置,大小为200m×400m,采用袋装砂结构形式。泥库北侧依托已建大堤堤身及老海塘大堤,减少泥库构筑工程量。



图16 副泥库航拍全景



图17 副泥库(依托已建堤身)

3、采取保护措施

为减少风浪对袋装砂堤身的破坏,采取在袋装砂堤身两侧抛投块石棱体进行堤身防护。

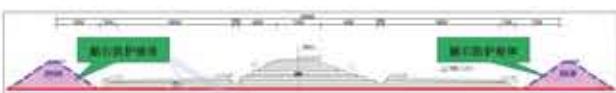


图18 抛石棱体保护示意图

4、选用高效充渣作业设备

泥库距最近作业点土方输送距离均在1000m左右,常规小型泥浆泵合理输送距离仅为500m,难以满足施工需求。为满足施工需要,施工中通过引进一套新型大功率泥浆泵,取得了较好的使用效果。新型设备施工效率高,性能好、使用成本低,现场统计数据表明:该设备作业效率是普通设备的1倍以上,极大地提高了土方施工速度。



图19 新型大功率泥浆泵取砂作业



图20 泥库取砂后期现场作业图

5、采用陆运砂施工工艺作为土方施工补充措施

施工前期,充分利用工程附近市政工程开挖的优质土源推进土方施工,作为泥库施工方案辅助施工方式。前期共使用外运砂5万m³用于堤身填筑,缓解了工程整体压力。



图21 外运砂土方堆载



图22 外运砂土方作业

6、综合利用现场条件,加快工程整体推进

泥库在堤身施工的各阶段均产生了巨大的辅助作用,

有力推进了施工进度,综合效益大。

(1) 土方作业平台:

土方施工过程中,泥库不仅作为土方供应源,还充当施工作业平台。方便现场施工人员临时休息、机具布设及存放,作为施工支撑点,泥库方便土方施工向两端辐射推进,加快了土方施工速度,提高了现场作业效率。

(2) 结构作业平台:

结构施工阶段,泥库发挥余热,起到了巨大的综合作用。泥库不仅成为提供自拌砼的搅拌平台,同时还起到了材料堆放场地、回车平台、材料倒驳码头等功能。



图23 土方施工过程中泥库综合利用图



图24 结构施工过程中泥库综合利用图

7、采取措施改善现场运输条件

(1) 构筑平台,提高结构施工效率:南侧堤堤顶宽度较窄且无回车墩,为满足工程现场施工、会车、材料堆放及安全生产的需要,缓解现场施工的压力,于结构施工前在南侧堤 NC1+400、NC1+900 和 NC4+100 位置修造了三座临时平台。

(2) 构筑上下坡道,形成立体交叉网络:施工中,通过构筑上下坡道连通堤顶及一级平台这两条临时道路形成网络道路,降低堤顶道路的压力,扩充现场交通容量。

(3) 使用泵车进行混凝土浇筑施工,解放堤顶道路,防止堵塞,改善通行条件。

4 结束语

袋装砂斜坡堤作为围围工程常见的结构型式,应用广泛,案例众多。南汇东滩促淤工程的南侧堤采用袋装砂斜坡堤型式进行促淤,带有一定的实验目的,断面兼具促淤堤堤身低矮的特点。同时,由于工程区域工况条件复杂,施工干扰因素多,导致现场施工难度大。为应对复杂条件下种种不利因素的干扰,工程在采取相应措施后,南侧堤最终顺利完工,实现了预先计划,效果较好。

南汇嘴地区的工况条件具有一定的代表性,施工中所采取的措施也具有较高的针对性及实用性,本文通过分析南汇嘴地区复杂条件下的袋装砂斜坡堤施工特点,为后续相关工程的实施提供一定的借鉴经验。

作者简介:

杨程鹏(1983—),男,工程师,江苏省镇江人,本科学历,国家注册一级建造师,主要从事港口航道与海岸工程管理工作。



田军
长江重庆航道工程局 重庆 400010

凿岩棒技术在特殊疏浚环境下的应用

摘要:本文结合工程实例,对凿岩棒技术在特殊疏浚环境下的应用进行了分析,并结合施工经验,分析了凿岩棒施工技术的特点,同时在类似工程实施中也提出了改进意见。

关键词:凿岩棒;炸礁;挖泥船

Abstract: With engineering examples, this paper analyzed the application of The Rock Drilling Technology under the special environmental in dredging. By analyzing the characteristics of The Rock Drilling Technology in the process of construction, this paper summed up the experience in dredging, And suggested improvements for dredging under similar conditions.

Key words: Rock drilling;Reef blasting;Dredger

1 引言

目前,凿岩棒施工技术在不少含有风化岩的疏浚工程中已进行过多次尝试性的应用,但伴随着抓斗式挖泥船斗容、斗重的不断增大,对上述施工环境多可以直接开挖,因此凿岩棒施工技术的优势无法得到体现,同时由于其施工效率低下也是该施工技术一直得不到广泛应用的主要原因。但是,该施工技术在疏浚施工中作用仍不能低估,尤其是对一些炸礁实施安全风险大、挖泥船又难以直接开挖等特殊条件下的疏浚工程。本文结合工程实例,对凿岩棒技术在特殊疏浚环境下的应用进行了分析,并结合实际施工经验,对凿岩棒施工技术的使用环境进行阐述。

2 凿岩棒技术施工原理

凿岩棒技术施工原理:将抓斗挖泥船上原抓斗更换为凿岩棒,抓斗挖泥船操作手根据 GPS 定位位置,把凿岩棒提升到一定高度后,松开制动离合器,使凿岩棒从高处自由落下依靠重力作用对海底岩面进行纵向凿击,使岩石碎裂。对岩石层较厚的区域,则加密或多次凿击,最终使岩石碎裂,达到能被抓斗船直接开挖的目的。

3 工程概况

背景工程为满足码头升级改造的需要,需要对原港池开挖加深并对沉箱基础进行加固,工程主要内容包括:清除码头前沿基床块石、拆除原有栅栏板、补填栅栏板位置的基床块石、高压水枪清洗基床、沉箱基床前沿水下码砌袋装混凝土、基床水下升浆、码头护舷后增设钢架等,码头前 130m 内沿停泊水域设计水深 -24.5m, 港池疏浚设计水深 -23.6m, 设计要求在上述施工区内严禁出现浅点。

本工程疏浚部分主要难点在于泊位区施工中发现里码头前沿线 20 米范围内系缆墩附近存在礁石,采用重力式抓斗式挖泥船难以开挖,而采用常规的炸礁方法,产生的冲击波可能对码头基础造成严重破坏,实施风险较大。

4 凿岩棒技术应用方案实施

通过上述工程情况分析,决定采用凿岩棒碎石技术进

行施工。

(1) 选定合适的凿岩棒

目前常用的凿岩棒分为斧头形、多齿形和铅笔形,前端为斧头形状的凿岩棒对较大面积的岩盘有较好的破碎效果,其形状有利于凿岩棒的能量向两侧传递,增加对岩石的破坏能力,并且在凿岩棒嵌入岩土过深时可减少棒身侧向的摩擦力,使凿岩棒更容易吊起,操作起来安全性较高;岩层为页岩建议常用多齿形状的凿岩棒,铅笔形状的凿岩棒可产生集中的冲击荷载,主要用于下端岩石较硬区域。而本工程中岩石区域面积小,工程量少,但是岩石层高低起伏较大,使用凿击面积较大的斧形凿岩棒更容易对浅区进行有效凿击,选用的凿岩棒如图 1 所示。



图 1 斧头型凿岩棒

(2) 设备安装

吊机与凿岩棒的连接方法:利用大排与锚链直接与凿岩棒吊点相连接,用小排加钢丝的方式作为保险,防止在过程中锚链断裂,造成凿岩棒沉入水底无法提起。凿岩棒

与抓斗吊机的衔接如图 2 所示。

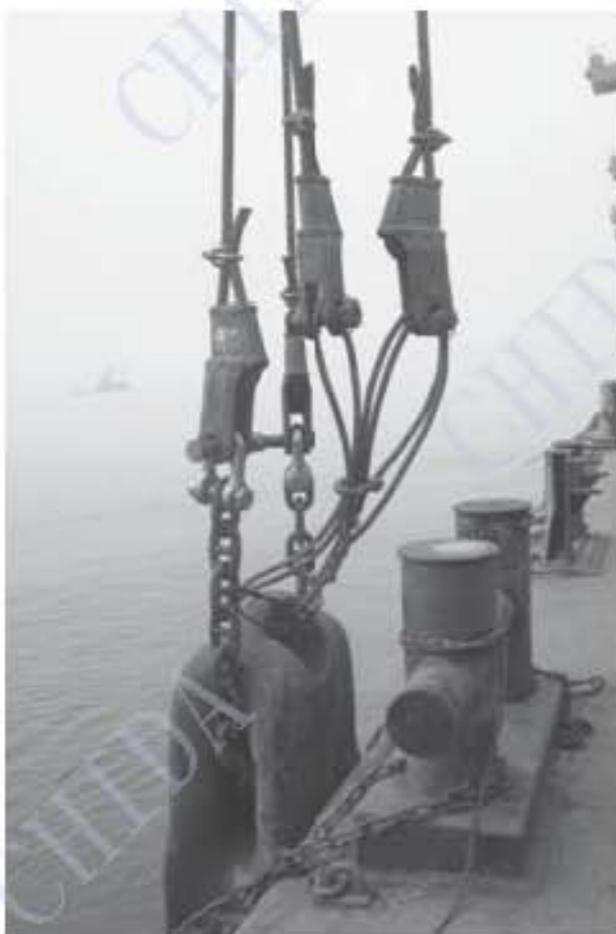


图 2 苗岩锤与吊机的衔接图

1.1 组织实施

在上述工作完毕后,为了更加准确的定位,在大车上安装 GPS,对苗岩锤进行实时定位,将苗岩锤的实时轨迹反映在操作间的显示器上,以便操作手能够直观清楚苗岩锤的苗击的点位。同时在施工过程中严格按照以下施工方法进行控制:

1) 施工准备 根据施工区测图确定需要苗岩作业的范围,接间距为 1.5m 或 2m,靠近泊位设计底标。

高层点距加密为 1m(如图 1),等边三角形布设备击点,并输入到大车上 GPS 导航电脑。

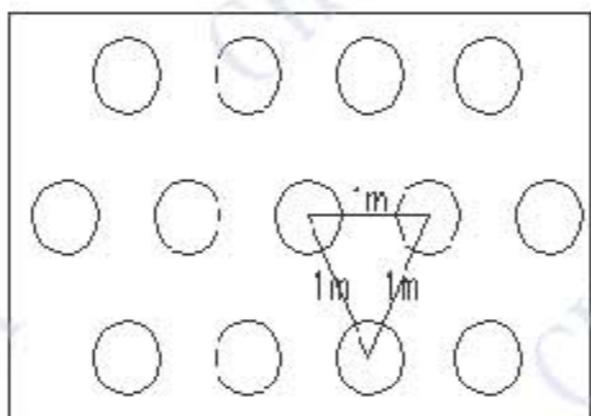


图 1 苗击点平面位置示意图

2) 确定合理的苗岩锤提升高度 提升太高有可能因冲击力过大损坏设备,提升太低有可能起不到苗击的效果。现场根据水位变化、海底标高情况进行确定,按照距海床绝对深度约 1.5 米进行控制,并根据作业现场实际情况适当进行调整。

3) 施工操作方法 操车手根据电脑显示定位确定苗击位置,把苗岩锤提升到一定高度后,松开制动离合器,使苗岩锤从高处自由落下对岩面进行苗击,使岩石碎裂。对岩石层较厚的区域,则加密或多次苗击,最终使岩石碎裂,达到能被抓斗船挖清的目的。

施工前后浅区对比示意图如图 4 所示:

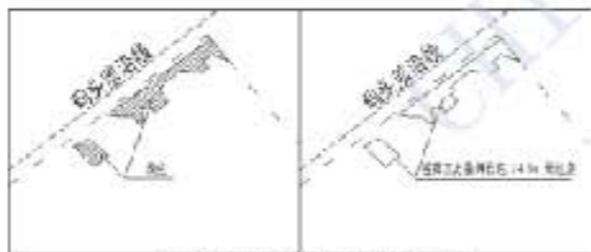


图 4 施工前后浅区对比示意图

实施后利用抓斗船清渣,浅区清理完毕,通过施工前和施工后测图比较,达到了 -24.5m 的设计标高。

5 实施方案技术特点

通过上述方案实施发现,苗岩锤技术在该工程应用中具有以下显著特点。

1) 先苗岩后清渣。苗岩船在坚硬岩石分布区域进行分段、分条苗岩,然后用大型抓斗船清挖苗碎后的风化岩,并运至抛泥区。

2) 设备改造简便而经济。苗岩锤施工工艺,是对抓斗船功能的改造。它是将“抓”改为“苗”,施工方法与抓斗挖泥类似,无需另购挖泥设备。

3) 能够快速投入施工。如果用炸礁施工方案,则影响码头的稳定性及过往船舶的安全。

4) 有良好的社会效益。若采用爆破技术开挖风化岩,其水下冲击波和振动波较大,并且对水体造成污染。而采用苗岩锤开挖风化岩,不仅对周边水体污染较小,而且由于其产生的冲击波和振动波较小,对海洋生物和周边建筑物的影响都很小。

6 应用中应注意的问题

以上对抓斗式挖泥进行简单改造,利用苗岩锤技术苗岩石,岩石破碎后采用抓斗挖泥船开挖的方法完全能够达到了工程中处理特殊环境下岩石区浅点的目的,而且设备安全可靠,效率高,最终质量满足设计验收要求。同时,在方案实施过程中为进一步提高施工效率,在施工操作中须注意以下问题:

1) 苗岩锤的选择 必须根据地质勘察资料、土质分布及岩层的标贯击数选择相应重量和形状的苗岩锤。

2) 施工过程中设备检查 在施工过程中,必须及时检查设备磨损情况,特别是苗岩锤连接处连接螺母的磨损情

况,及时发现问题,防止由于连接处断裂造成苗岩锤无法提起。

3) 苗击间距 施工中要根据实际情况适时调整苗击点的间距,提高功效。

4) 苗岩锤的提升高度 施工中要根据苗岩锤的坚硬程度和厚度选择,以免提升太高对设备造成不必要的损害,提升太低,难以达到预定的效果。

7 结束语

本工程利用苗岩锤配合抓斗船成功解决了实际中不易采用炸礁施工区域的岩石区域开挖问题,并使施工工艺大大简化,工效显著增加,苗岩锤技术的成功利用对其他类似工程,具有一定的推广和借鉴作用,并对今后如何更好的研究和推广苗岩锤技术在特殊环境条件下的应用具有一定的参考意义。

参考文献:

- [1] 刘永彬.浅谈苗岩锤施工工艺 [A].中国交通建设集团有限公司第一届科技大会论文集 [C], 2009.
- [2] 曾宪江等.苗岩锤水下破岩对网箱养殖鱼类的影响 [J].渔业博览, 2008, 10/1.
- [3] 邓元广等.苗岩锤工艺在深水工程中的应用 [J].中国水运, 2007, 10/1.
- [4] 许俊海.苗岩锤苗岩工艺在友谊港深水工程中的应用 [J].中国水运, 2011, 10/1.

作者简介:

田军 (1981—),男,本科学历,长江重庆航道工程局南方工程公司主任工程师,测绘工程师,主要从事内河航道整治和沿海疏浚施工与管理工作。

海河早期的裁弯取直工程

中交天津航道局有限公司 薛崇清



裁弯前的海河市内段



从天津三岔口起到大沽口的海河航道弯曲较多，据记载，清咸丰八年（1858年）时，从三岔口至海河口全长90.1公里，但直线距离仅48.3公里。错综复杂的河道，使得船的航行极为不便，如在咸丰十一年（1861年），200吨以上的船只在海河航行时就不断发生在急转弯处撞击河岸的情况。

从1901年至1923年，海河工程局先后进行了6次裁弯，这是建局早期进行的最大规模的工程。

1901年10月21日，海河工程局进行了第一次裁弯取直工程。这次裁弯，起于挂甲寺，止于杨庄，全长1207米，消除了天津湾、火柴厂湾与

定进行第三次裁弯。

1903年9月，海河工程局开始进行第三次裁弯取直工程。这次裁弯处杨家场起到辛庄止，全长3380米，1904年6月底工程竣工，7月23日正式通航。这次裁弯仍采用人工挖掘的方法，雇工最多时达15000人，挖泥193.1万立方米，工程费用为30万两白银。裁弯后，海河航道缩短7242米，通航条件进一步改善。

1911年，海河工程局进行了第四次裁弯取直工程，这也是海河工程局进行的最大规模的一次裁弯工程。该工程自大赵北庄起，至东泥沽止，全长3782米。1911年4月9日工程

开工，4月27日完成了海河南岸第一吹填处的围堰。4月29日，“新河”号挖泥船进入第四裁弯段，5月7日开始施工，这是第一次主要由挖泥船施工的裁弯工程。1913年7月15日工程结束，挖泥2424万立方米，缩短河道9077米。第四次裁弯工程结束后，海河的通航能力大大提高，1914年7月，吃水4.58米的“昌升”号通过海河，这也是有记载以来通过海河航道的吃水最深的船只。这次裁弯，由于使用挖泥船施工，工程费用为23.62万两，为海河工程局节省了可观的经费。

1918年，海河工程局与顺直水利委员会共同进行了一次裁弯，这就是三岔口裁弯，也称之为第五次裁弯。当时南运河、北运河及金钟河在三岔口汇集进入海河，过于弯曲的河道，不仅影响了海河上游各河水的下泄，而且不利于上涨的潮水通过。当年11月23日工程结束。这次裁弯，全长474米，缩短河道1585米，共挖土17万立方米（其中人工开挖6.7万立方米，挖泥船开挖11.3万立方米）。

裁弯后，在裁弯区的上游，潮水落差增加了1.07米，同时为大运河又开挖出一个新的出口。

1921年海河工程局进行了灰堆裁弯，也称之为第六次裁弯。这次裁弯起于下河圈，止于芦庄，是对第二次裁弯的完善和延伸。工程于1921年5月份开始，6月20日，“新河”号挖泥船进入工地施工，1923年10月29日工程结束。这次裁弯全长2743米，缩短河道1534米，挖泥203.1万立方米（其中人工开挖24.9万立方米，挖泥船开挖178.2万立方米）。裁弯所挖泥土，用于填筑墙子河外的洼地。

海河的六次裁弯工程完成后，共缩短河道26.6公里，轮船自大沽口至天津的航行时间减少，各种轮船可乘一潮时间从海河口驶抵天津，航行十分便利。裁弯后，上下游河床普遍刷深、拓宽，断面增大，纳潮量增加，海河河槽的调蓄能力也逐步加大，如1914年海河的纳潮总量为1957万立方米，1926年增加为2697万立方米，加上上游经常性的淡水径流和历次汛期洪

水的冲刷，河床不断被刷深。1900—1927年，冲刷总量达2897万立方米，年均为107万立方米。天津港潮差普遍增加了0.9—2.0米，最大吃水为5.5米的船舶能够通航。特别是在干旱年代和枯水季节，上游无径流下泄，有潮流作为替代，仍能使轮船驶抵天津市区码头。第六次裁弯后的1924年有1311艘轮船到达天津市区码头，最大吃水量为5.33米，到1927年洪水前，2000吨级的轮船均可直航天津市区。

裁弯还起到了排泄洪水的作用，1904年8月，海河流域普降大雨，海河水位急剧上涨，运河河堤仅比水面高出0.3米，如果没有进行裁弯以使洪水快速下泄，天津附近地区则有被洪水淹没的危险。

裁弯取直工程既缩短了航道，又增加了纳潮量，使航道加深、加宽，适应了船舶数量增加和船舶大型化发展的要求，同时便利了船舶航行，保证了航行安全，对天津港以及天津市的繁荣和发展，都做出了重要贡献。另外，通过裁弯取直来治理海河航道的做法，也为后人提供了宝贵的经验。

大江展宏图 改革再开放

—热烈祝贺长江航道局成立 60 周年

《中国疏浚》征稿启事

《中国疏浚》是中国疏浚协会以学术研讨为主兼容国内外疏浚信息的综合性内部资料，供中国疏浚协会会员单位内部交流。主要栏目有卷首语、特别策划、管理聚焦、国际视野、创新动态、学术论坛、百年百典、大事记等。《中国疏浚》一年编辑印刷六期。为做好编辑工作，中国疏浚协会秘书处特向广大会员单位长期征稿。稿件一经采用，即付稿酬。其版权归中国疏浚协会所有，中国疏浚协会有权在其他载体上使用。同时，寄送《中国疏浚》1本。

征稿要求：文章条理清晰、简明严谨、资料数据正确可靠；文章字数在3000字左右，超长文章将分期刊登。来稿以Word录入排版，以电子邮箱“附件”形式发送；稿件中需注明作者姓名、职务、单位、邮编、地址、联系电话、电子邮箱，并附作者两寸电子版彩色照片；论文必须注明中英文摘要和关键词；计量单位和符号，请一律使用国际通用标准或国家法定计量单位；文中引用参考文献应依照先后顺序用阿拉伯数字加方括号在右上角标出，并在文章末尾按标注顺序给出引用参考文献的作者名、引用文题名、出版单位以及出版日期。

论文经作者单位初审后推荐至中国疏浚协会秘书处，中国疏浚协会秘书处指定专家负责审核。论文作者对文稿内容的真实性、可靠性和学术性等负全责。

联系方式：北京朝阳区西坝河西里28号英特公寓C6-12M

中国疏浚协会秘书处

邮 编：100027

联系人：郭恩泽

联系电话：010-53693612 18612590726

电子邮箱：zgsjxh2013@163.com

传真：010-64475626

伟大的事业催生了伟大的精神。奔腾的长江孕育了“绿色航道、畅通服务”的行业文化；壮丽的征程凝炼出了“团结、诚信、奉献、卓越”的航道精神；无私的奉献浇灌出了璀璨绚烂的文明之花。

筑基塑魂的党建工作，深谋远虑的人才培养，丰富多彩的文体活动，细致入微的民生关怀，凝聚起一支特别能吃苦、特别能战斗、特别能奉献的高素质航道干部职工队伍。无名英雄郑兴高、导航神女谷秀全、模范站长李汉成、科技英才刘怀汉、航标灯王郑启湘、航道卫士金生国、炸礁勇士李红勇，激励着一代代长江航道人披荆斩棘、奋勇前行。4段全国文明样板航道、3个全国文明单位，彰显了长江航道人克难奋进、勇创一流的时代风貌。

长江航道局连续四次蝉联“全国文明单位”殊荣，诠释了新时期长江航道人开辟美好生活新航道的庄严使命。



长江航道局承建的
上海浦东机场外侧滩涂促淤围围工程-3# 围区围工程