



生态清淤技术 在白洋淀水环境治理中的应用

董 敏, 王 鹏, 马德堂

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对白洋淀水域内源污染问题, 实施白洋淀水域环境治理的试验性研究工程。采用生态清淤作为主要方案, 针对不同下垫面类型分别采取环保绞吸船、泥浆泵和干挖等不同的生态清淤措施, 辅以合理的底泥输送、脱水、底泥资源化和余水处理等方法。工程实施后达到预期的试验研究效果。研究成果为形成可行有效的白洋淀水环境治理模式提供了有力支撑。

关键词: 生态清淤; 底泥输送; 底泥脱水; 底泥资源化; 余水处理

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)10-0064-04

Application of ecological desilting technology in water environment treatment of Baiyangdian

DONG Min, WANG Peng, MA De-tang

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: In view of the problem of endogenous pollution in Baiyangdian, we carry out experimental research on Baiyangdian water environmental treatment. Ecological dredging is used as the main plan to implement different ecological desilting measures by adopting the environmentally friendly cutter suction boats, mud pumps and dry excavation for different underlying surface types, supplemented by reasonable sediment transportation, dewatering, mud resources and residual water treatment. After implementation of the project, the expected experimental research results are achieved, which provides a strong support for the formation of a feasible and effective Baiyangdian water environmental treatment model.

Keywords: ecological dredging; mud transport; mud dewatering; mud resourceisation; residual water treatment

早期白洋淀水质优良, 无色无味, 清澈见底, 矿化度低(400 mg/L), 酸碱度适中(pH值7~8), 可用作工农业及居民生活用水。淀内底土松软、淤泥厚积、饵料丰富, 是鱼虾繁殖的良好场所。随着改革开放以来经济的高速发展, 白洋淀受到排污影响, 水污染日趋严重, 曾导致鱼虾、蟹等死亡。随着雄安新区的建立, 《白洋淀生态环境治理和保护规划(2018—2035年)》对白洋淀污染底泥提出明确的治理要求。因白洋淀区域几十年来未实施过大规模的治理项目, 对于底泥内源污染

的治理缺乏实施经验和治理模式的支撑。本项目选取具有典型代表意义的试点制定了包含生态清淤、原位治理、活水循环、生态修复等多种内源污染治理技术的研究方案。

1 工程区现状

本项目是白洋淀区域内源污染治理的首个试点工程, 是淀区大范围、规模化开展内源污染治理的先行案例, 立足于淀区生境破碎现状、污染情况、迫切治理需要、便于试验对比效果、经济规模合理

性等几方面进行综合比选, 筛选出底泥淤积较厚、水质较差、生态空间类型多样、生态空间破碎、水力连通差、单元相对独立、征地拆迁量小、施工条件便利的区域开展内源污染治理的研究工作, 经过多次论证分析, 选定南刘庄和采蒲台 2 个试点区, 面积分别为 1.12 km^2 和 0.59 km^2 。

项目设计阶段对南刘庄和采蒲台 2 个试点区进行勘察, 全面分析工程区污染底泥随空间分布及深度分布的污染状况。按照沉积学法综合考虑底泥的颜色、气味、粒径和黏稠度等显性特征将底泥由上至下依次分为污染层 (A1 为流泥层、A2 为淤泥层)、污染过渡层 (B) 和正常湖泥层 (C), 建立了污染层分布模型 (图 1)。通过环保取样底泥对试点区的 pH 值、有机质、重金属、总氮和总磷含量及吸附解吸情况进行试验检测, 结果见表 1。

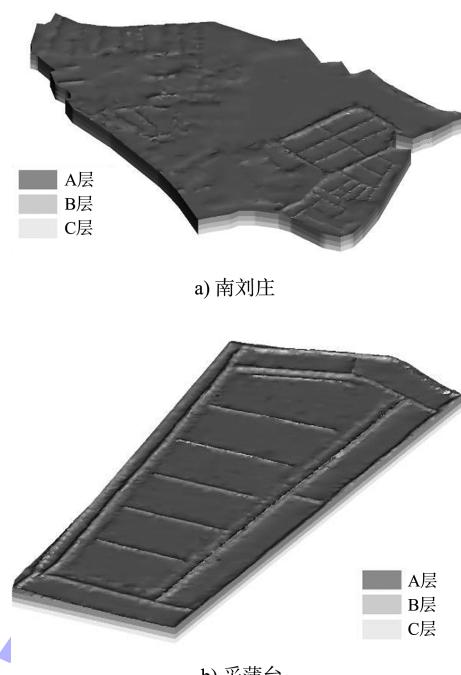


图 1 试点区底泥厚度空间分布

表 1 试点区环保取样孔检测指标结果

所在区域	厚度/m		pH 值			有机质 (C)/(g·kg ⁻¹)		
	A 层	B 层	A 层	B 层	C 层	A 层	B 层	C 层
南刘庄自由淀面	0.10~0.93	0.10~1.33	7.82~8.12	7.95~8.13	8.04~8.19	18.80~75.70	3.97~39.42	3.58~8.65
南刘庄鱼塘	0.02~0.70	0.03~1.58	7.80	7.81~8.08	7.87~8.12	11.60~70.56	2.83~37.20	2.37~18.60
采蒲台鱼塘	0.03~0.6	0~0.84	7.83~7.95	7.84~7.88	8.09~8.20	6.30~83.70	3.57~45.37	5.48~43.20
重金属 8 项评价	总氮 (TN) 含量/(g·kg ⁻¹)			总磷 (TP) 含量/(g·kg ⁻¹)				
	A 层	B 层	C 层	A 层	B 层	C 层		
风险低	0.70~4.97	0.26~1.46	0.23~0.83	0.50~1.27	0.41~0.78	0.43~0.73		
风险低	0.91~4.44	0.16~0.98	0.21~0.68	0.54~1.54	0.45~1.12	0.41~0.78		
风险低	0.55~3.88	0.42~0.76	0.35~0.65	0.06~0.97	0.36~0.75	0.55~0.69		

分析得知, 底泥 pH 值一般在 7.8~8.2, 污染底泥层 (A 层)、污染过渡层 (B 层)、正常湖泥层 (C 层) 的 pH 值总体呈轻微升高趋势。

有机质含量各层差异较大且呈自上而下降低趋势, 污染底泥层 (A 层)、污染过渡层 (B 层)、正常湖泥层 (C 层) 等各层有机质含量分别为 4.0%、1.6%、1.1%。

底泥重金属含量均远低于《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》规定的风险筛

选值, 说明底泥作为农用地土壤风险低, 一般情况下可忽略不计。

不同下垫面的总氮、总磷含量差异较大, 总体来看总氮、总磷含量均在约 0.05 m 处出现极大值, 随后含量呈下降趋势。

底泥柱状样进行了吸附-解吸试验, 分析试点区不同下垫面类型下的底泥氮磷与水体的交互情况。结果表明, 氨氮和易解吸无机磷的吸附-解吸平衡浓度总体随深度的增大而减小(图 2)。

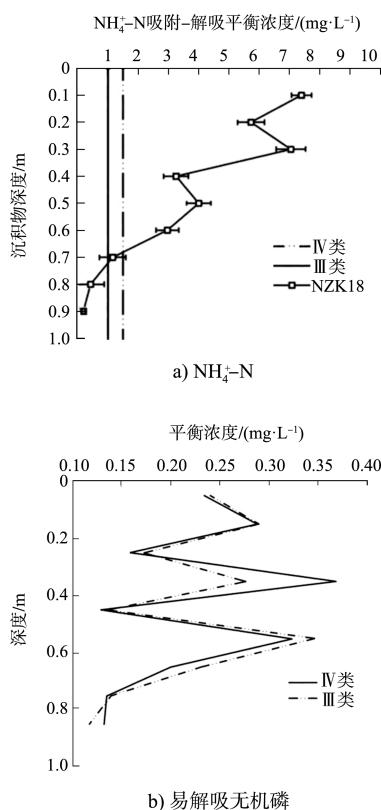


图 2 沉积物对 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和易解吸无机磷吸附解吸平衡浓度随深度变化

2 工程实施方案

2.1 污染底泥清淤深度确定

采用沉积学法初判、辅以拐点法量化的方法，进行生态清淤控制值的确定^[1-2]。同时采用吸附-解吸试验数据，对前述确定的清淤控制深度进行复核；在拐点法确定数值无重大偏差的情况下，即采用拐点法确定的清淤深度控制值。最终按照不同下垫面类型确定清淤深度，如表 2 所示。

表 2 试点区不同类型下垫面的设计清淤深度

样点	设计清淤深度/m	清淤厚度/m
南刘庄自由淀泊	$H_A + H_B \times 29\%$	0.216~1.005
南刘庄鱼塘	$H_A + H_B \times 26\%$	0.050~0.490
采蒲台鱼塘	$H_A + H_B \times (24\sim 29)\%$	0.200~1.000

注： H_A 、 H_B 分别为 A、B 层的厚度。

2.2 底泥疏浚分区方案

生态清淤范围内的下垫面类型主要为淀泊水面、水道、鱼塘和荷塘，种类较丰富。清淤方式将结合各区块下垫面特点进行规划，各种清淤方式配合进行试验。结合白洋淀清淤试点区域工程

条件和精确疏挖的要求^[3]，筛选出以下 4 种适宜本工程的疏浚设备：环保绞吸式挖泥船、高浓度泥浆泵、两栖挖掘机、陆上疏挖机具。

将南刘庄试点区生态清淤区划分为环保绞吸船施工区、高浓度泥浆泵施工区和干挖施工区 3 个区，将采蒲台试点区生态清淤区划分为环保绞吸船施工区、高浓度泥浆泵施工区 2 个区，围堰生态拆除将与生态清淤同步实施，统筹规划拆除时序。

2.3 底泥输送方式

结合不同的底泥清淤工艺，底泥的输送方式主要包括管道输送、船舶输送及汽车输送 3 种。清淤湿作业采用环保绞吸船+高浓度泥浆泵，均通过管道将底泥输送到脱水场；鱼塘干挖及围堰拆除，采用水陆两栖疏挖设备陆上土方机械施工，清除后由运输车运输到堆存区。

2.4 底泥脱水方式

综合考虑处理效果、施工周期、成本投入、能源消耗、场地条件和资源化利用等多因素限制，筛选出适用于试点工程的底泥脱水工艺为真空预压法、土工管袋法、板框压滤法、自然晾晒。南刘庄选择清淤区东南侧淀外农田作为脱水场区，面积为 9.5 万 m^2 ，其中土工管袋脱水场地面积约为 8.7 万 m^2 ，脱水底泥 11.12 万 m^3 ，板框压滤脱水场地面积为 0.8 万 m^2 ，脱水底泥 0.59 万 m^3 ；采蒲台区选择清淤区南侧淀外的坑塘作为脱水场区，脱水区面积约为 2.2 万 m^2 ，容积约 16 万 m^3 ，采用直排式真空预压工艺进行脱水，脱水底泥 11.11 万 m^3 。

2.5 余水处理方式

经检测，清淤底泥中余水以无机颗粒为主，余水处理有细颗粒逃逸的风险。底泥脱水后产生的余水处理方式推荐采用一级强化絮凝工艺方案，处理后的余水控制标准推荐采用 SS 值 70 mg/L 为主要控制指标，同时检测 TN、TP、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD 水质指标，作为参考指标分析清淤余水水质。本项目余水处理量：南刘庄试点区 202.4 万 m^3 ，采蒲台试点区

212.6 万 m^3 , 余水处理达标后排至清淤区。

2.6 底泥资源化方式

综合分析清淤量、底泥性状、各项污染物含量、可利用途径、可行性、经济性、环保等多种因素, 参考国内外成功案例, 试点项目脱水后底泥资源化的方向选定坑塘生态恢复、绿化种植土、蓄水陶土、榫卯砌块等进行研究。试点工程共资源化土方 49.5 万 m^3 , 其中坑塘生态恢复 47.47 万 m^3 、绿化种植土 1.02 万 m^3 、蓄水陶土 1 万 m^3 、榫卯砌块 0.01 万 m^3 。

3 实施效果评价

项目自 2019 年 9 月开工, 至 2020 年底生态清淤、输送、底泥脱水、余水处理、底泥资源化等工艺均已完成, 实施效果良好^[4]。

1) 底泥污染物削减: 根据施工前后的底泥取样检测结果可知, 通过生态清淤施工, 底泥中各污染物质含量均下降: 施工后 2 个试点区共可减少氨氮释放量 2.290 t/a, 减少比例为 85.0%; 减少磷酸盐释放量 0.040 t/a, 减少比例为 59.2%。

2) 防污染底泥二次扩散: 采用自主研发改进的启闭刮板式环保绞刀, 增大挖掘深度, 提高了挖掘平整度, 疏浚超深精度可达 0.1 m, 疏浚精度满足要求。清淤过程中, 各污染物在扩散程度上没有明确的指向性, 在距离清淤点 30 m 处, 清淤产生的各项扰动已经衰减到背景值水平, 清淤点周边、清淤区与外界水体交换通道处设置拦污屏, 将清淤区内少量逃逸的细颗粒拦截在清淤区内, 进一步防止其向外扩散, 避免污染物的二次污染。

3) 污染底泥疏挖适应性: 选择“浚湖号”和“浚江号”绞吸挖泥船开展施工, 采用冠形平刃环保绞刀, 结合疏浚土的可挖性指标, 设备选型较为合理, 绞吸船疏挖适应性较好, 清淤过程中对淤泥层和过渡层的适应性较好。局部正常层土质较硬, 疏挖效果稍差。

4) 底泥输送效率: 对比环保绞吸船及高浓度泥浆泵施工时的疏浚效率与输送效率可知, 实际

疏浚效率均低于输送效率, 但实际疏浚效率能够匹配生产需求。

5) 底泥脱水效果: 底泥含水率在 33.2%~59.4%, 均满足脱水含水率目标 60% 的要求; 脱水周期, 真空预压最长、土工管袋次之、板框压滤最短; 综合单价, 板框压滤最高、土工管袋次之、真空预压最低。

6) 余水处理效果: 项目实施中, 通过加药强化沉淀方式控制水中的悬浮物 (SS) 指标, 水中有有机物和氮、磷营养盐等污染物含量达到预定的水质目标。

7) 底泥资源化方向: 有机物、重金属等指标均能满足绿化种植土要求, 但须添加改良剂对质地进行改良, 通过发酵等方式促进有机质转化, 改善孔隙率及土壤质地; 脱水底泥及围堰拆除土方均无法直接作为水利堤防填筑使用, 如后期含水率经处理后符合压实要求, 可用于填方中的次要部位使用; 有机质含量检测超过 8% 的部分土方, 可作为无压实要求的填方使用。

4 结语

1) 通过对项目区水质、底泥污染物全方位取样检验实现了对白洋淀区域污染物静态指标的了解, 通过底泥释放、吸附解析等试验掌握污染物动态污染指标, 为后期白洋淀区域污染治理奠定了扎实的基础。

2) 生态清淤全过程、多环节的试验, 验证了生态清淤在白洋淀区域的适宜性, 生态清淤可以有效减少污染区域内污染物存量, 减少污染物释放风险, 生态清淤的精准施工、管道环保输送可有效减少施工扰动及底泥二次扩散。

3) 底泥资源化再利用使污染底泥变废为宝, 在减少底泥污染的同时, 避免资源浪费, 践行了生态环保理念。总结生态清淤实施经验形成《白洋淀生态清淤技术规程和评估标准》, 为最终形成适合白洋淀水域环境治理的可实施、可推广的治理模式提供了有力支撑。

(下转第 73 页)