

# 河道疏浚底泥资源化利用途径及可行性研究

马 爽

河南水投光州现代水网有限公司 河南 信阳 465150

**摘 要：**河道疏浚底泥资源化利用是解决底泥污染与实现固体废弃物减量的重要途径。本研究系统分析了底泥在土地利用、建材制造、生物质能源及多功能材料等领域的转化技术，评估了其技术可行性（脱水、无害化处理技术成熟）、经济可行性（资源化收益可覆盖部分成本）及环境可行性（污染风险可控、碳减排效益显著）。结果表明，通过政策引导、技术创新与产业链协同，底泥资源化利用可实现环境效益与经济效益双赢，为城市可持续发展提供新路径。

**关键词：**河道疏浚底泥；资源化利用；可行性研究

## 1 河道疏浚底泥的性质与成分分析

### 1.1 底泥的组成与特性

河道底泥是河流长期沉积作用的产物，其组成复杂且具有显著的时空异质性。从物理结构上看，底泥通常分为表层浮泥（流动性较强）和深层固结泥（结构致密），其颗粒粒径分布广泛，包含黏土、粉砂、砂粒等不同粒级。化学组成上，底泥富含有机质（如腐殖质、微生物残体）、无机矿物（如硅酸盐、碳酸盐）以及吸附态的金属离子（如Fe、Al、Mn的氧化物）。底泥的理化性质受流域地质背景、水文条件及人类活动影响显著，例如工业废水排放区底泥可能呈现强酸性或碱性，而农业面源污染区则可能富集氮磷等营养元素。底泥的高含水率（通常>60%）和低渗透性使其成为污染物的“汇”，其氧化还原电位（Eh）和pH值的变化会直接影响污染物的迁移转化过程。

### 1.2 底泥中污染物的含量与形态

底泥中污染物的种类和赋存形态直接反映其环境风险。常见污染物包括：重金属，如铅（Pb）、镉（Cd）、汞（Hg）、铬（Cr）等，多以硫化物、氧化物或有机结合态存在，其中可交换态和碳酸盐结合态的生物有效性较高，易在环境条件改变时释放。营养盐，氮（N）、磷（P）以氨氮、硝酸盐、磷酸盐等形式富集，是引发水体富营养化的关键内源。有机污染物，包括多环芳烃（PAHs）、多氯联苯（PCBs）、农药残留等，部分难降解有机物可通过生物累积作用进入食物链。新兴污染物，如微塑料、抗生素抗性基因（ARGs）等，其长期生态效应尚不明确<sup>[1]</sup>。污染物的形态分析（如Tessier五步提取法）表明，底泥中重金属的赋存形态受氧化还原条件、pH值和有机质含量调控。例如，厌氧环境下，硫酸盐还原菌可将硫酸盐转化为硫化物，与重金属形成难

溶的硫化物沉淀，从而降低其生物有效性；而pH升高则可能促进重金属的碳酸盐结合态或氢氧化物沉淀。

### 1.3 底泥的污染风险评价

底泥污染风险评价需综合考虑污染物的总量、赋存形态、释放潜力及生态受体敏感性。评价方法包括：化学指标法，通过对比底泥中污染物浓度与沉积物质量标准（如SQGs、TEL/PEL阈值），初步判断污染程度。生物毒性测试，利用发光菌、藻类、底栖动物等模型生物，评估底泥浸出液或整体样品的急性/慢性毒性。释放通量模型，基于底泥-水界面物质交换动力学，预测污染物在扰动（如疏浚、风浪）或环境变化（如pH、溶解氧波动）下的释放速率。风险评价结果可为底泥管理提供科学依据。底泥疏浚工程需权衡污染物去除效率与二次污染风险，避免疏浚过程中悬浮物扩散导致水体恶化。长期监测与动态评估是保障河道生态安全的关键。

## 2 河道疏浚底泥资源化利用途径

### 2.1 土地利用

河道疏浚底泥富含有机质和植物所需的营养元素（如氮、磷、钾），经无害化处理后可作为土壤改良剂或肥料应用于农业、林业及土地复垦。底泥中的黏土矿物和有机质可改善土壤团粒结构，增强保水保肥能力，适用于退化土壤或盐碱地的修复。通过堆肥或厌氧发酵技术，底泥中的有机污染物可被降解，同时转化为稳定化有机肥。需注意重金属含量超标的底泥需经固化或钝化处理，避免对土壤造成二次污染。底泥可用于湿地修复或植被恢复工程，作为基质层提供养分，促进植物群落重建，但需控制底泥中污染物向地表水或地下水的迁移风险。

### 2.2 建材利用

底泥中的无机矿物成分（如SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO等）

可作为建材原料,替代部分天然资源,实现固体废弃物的减量化与资源化。经脱水、干燥和高温烧结后,底泥可制成烧结砖、陶粒或轻质砌块,其抗压强度和耐久性符合建筑标准。例如,掺入30%~50%底泥的烧结砖可降低能耗并减少黏土开采。底泥中的硅铝质成分可作为水泥混合材或替代部分黏土,降低水泥生产中的碳排放。但需控制底泥中氯离子、重金属等杂质含量,避免影响水泥性能。底泥经固化处理后可用于道路基层或填方材料,其工程性质需通过压实度、承载力等指标评估,确保长期稳定性。

### 2.3 生物质能源利用

底泥中的有机成分可通过生物转化技术转化为清洁能源,实现减污降碳协同增效。在厌氧条件下,底泥中的有机物可被微生物分解为甲烷和二氧化碳,沼气可用于发电或供热。例如,每吨含水率80%的底泥可产沼气约30~60m<sup>3</sup>,能源回收效率显著<sup>[2]</sup>。通过高温无氧分解底泥中的有机物,生成生物炭、生物油和可燃气体。生物炭可作为土壤改良剂或吸附剂,生物油可提炼为燃料油,实现多级资源化利用。将底泥与农业废弃物(如秸秆、畜禽粪便)混合发酵,提高产气效率并降低处理成本,适用于区域性有机废弃物协同处置。

### 2.4 其他利用途径

除上述方向外,底泥还可通过创新技术实现高值化利用。(1)吸附材料制备:利用底泥中的铁锰氧化物或有机质,制备重金属吸附剂或催化剂载体,用于污水处理或工业催化过程。(2)环境功能材料:通过改性处理,底泥可转化为透水砖、人工湿地填料或生态护坡材料,兼具环境修复与工程功能。(3)矿物提取:从底泥中回收稀土元素、钛铁矿等高附加值矿物,需结合选矿技术与经济可行性评估。(4)科研与教育:底泥可作为环境科学研究的实验材料,或用于生态教育基地展示污染治理技术,提升公众环保意识。底泥资源化利用需遵循“因地制宜、风险可控”原则,优先选择技术成熟、环境风险低的途径,并配套全过程污染防控措施,确保资源化产物的环境安全性与经济可行性。

## 3 河道疏浚底泥资源化利用的可行性分析

### 3.1 技术可行性

河道疏浚底泥的资源化利用技术已具备较为成熟的体系,其核心在于污染物去除与资源转化工艺的适配性。针对底泥中的重金属、有机污染物和病原体,可采用物理(筛分、磁选)、化学(固化稳定化、淋洗)和生物(好氧堆肥、厌氧发酵)方法实现减量化与无害化。底泥中的有机质、无机矿物和水分可通过定向转化

实现资源化。例如,热解技术可将底泥转化为生物炭、生物油和可燃气;烧结工艺可将脱水底泥制成建材(如陶粒、砖块);脱水后的底泥还可直接用于土地改良或生态修复。现有技术已实现底泥中60%~80%的组分资源化利用。国内外已建成多个底泥资源化示范工程,如新加坡将底泥用于滨海堤坝建设,中国长三角地区通过“疏浚-脱水-建材化”一体化技术实现底泥减量与资源化。技术瓶颈主要在于高含水率底泥的脱水能耗、复杂污染物的协同处置以及资源化产物的性能优化。

### 3.2 经济可行性

底泥资源化利用的经济性取决于处理成本、资源回收价值及政策支持力度。底泥处理成本主要包括疏浚工程费(约50~150元/m<sup>3</sup>)、脱水与预处理费(20~50元/m<sup>3</sup>)及资源化利用费(10~30元/m<sup>3</sup>)。高含水率底泥的脱水能耗占总成本的30%~50%,是成本控制的关键环节。资源化产物(如建材、生物燃气、有机肥)的市场售价可覆盖部分处理成本。底泥填埋处置费的节省(约30~80元/m<sup>3</sup>)可进一步降低净成本。政府补贴(如环保专项资金、税收优惠)、碳交易机制(沼气发电的碳减排收益)及资源化产物市场需求(如绿色建筑建材、生态农业投入品)可显著提升项目经济性。尽管初期投资较高,但底泥资源化利用可减少土地占用、降低二次污染风险,并创造就业机会,长期经济可行性显著。

### 3.3 环境可行性

底泥资源化利用的环境可行性需评估其对生态系统、人体健康和自然资源的潜在影响。资源化过程中需确保污染物不向环境迁移。例如,建材化利用需控制底泥中重金属浸出毒性(符合《固体废物浸出毒性浸出方法》标准);土地利用需监测土壤和作物中污染物累积情况。现有技术可将底泥中重金属的稳定化率提升至90%以上。与传统填埋相比,资源化利用可减少土地占用(每万吨底泥节省土地约2~3亩)并降低温室气体排放。例如,厌氧发酵产沼气替代化石燃料,每处理1万吨底泥可减少CO<sub>2</sub>排放约500~800吨。但需关注脱水、烧结等高能耗环节的碳足迹,建议通过余热回收、生物质能源替代等措施优化碳平衡<sup>[3]</sup>。底泥资源化产物(如生态护坡材料、人工湿地基质)可改善区域生态环境,但需避免引入外来污染物或破坏原有生态平衡。建立“疏浚-处理-利用-监测”全链条环境监管体系,确保底泥资源化过程符合循环经济原则。

## 4 河道疏浚底泥资源化利用的策略与建议

### 4.1 政策支持与激励机制

政策引导是推动底泥资源化利用的核心动力,需构

建多层次、多维度的激励体系。制定底泥资源化利用专项法规,明确分类管理标准(如建材用、农用、填埋用底泥的质量要求),建立全链条环境监管制度,确保资源化产物安全可控。通过财政补贴(如处理成本补贴、资源化产物采购补贴)、税收优惠(减免增值税、所得税)和绿色信贷政策,降低企业初期投资压力。在政府工程中优先采购底泥资源化产品(如生态砖、有机肥),推动资源化产物进入市场。建立底泥资源化企业“白名单”,简化行政审批流程,降低制度性交易成本。将底泥资源化纳入碳交易市场,沼气发电、生物炭固碳等项目可通过碳减排量获得收益。对实现底泥减量化、无害化的区域给予生态补偿,形成“治理-收益”良性循环。

#### 4.2 技术创新与研发

技术突破是提升底泥资源化效率与附加值的关键,需聚焦高值化利用与低碳化工艺。重点攻关高含水率底泥高效脱水技术(如电渗透脱水、化学调理脱水)、复杂污染物协同处置技术(如重金属钝化、有机污染物降解)和资源化产物性能提升技术(如建材强度优化、有机肥缓释增效)。建立高校、科研院所与企业的联合实验室,推动“底泥成分分析-工艺优化-产物应用”全链条研发。引入物联网、大数据和人工智能技术,实现底泥处理过程的精准控制(如脱水能耗动态优化)。推广太阳能干燥、生物质能源替代等低碳工艺,降低资源化利用的环境足迹。借鉴国外先进经验(如荷兰底泥磷回收技术、日本底泥热解气化技术),通过技术引进、消化吸收再创新,提升国内底泥资源化技术水平。

#### 4.3 产业链构建与协同发展

构建完整的底泥资源化产业链,需整合上下游资源,形成协同高效的产业生态。打通“疏浚-预处理-资源化利用-产物销售”全链条,培育专业化分工企业。推动底泥资源化与农业、建材、能源等行业的跨界融合。例如,底泥有机肥与生态农业结合,底泥建材与绿色建筑配套,沼气发电与区域能源网络联动。规划建设底泥资源化产业园区,吸引上下游企业集聚,实现资源共享(如能源梯级利用、废弃物交换)和成本降低<sup>[4]</sup>。通过集群效应提升产业竞争力,形成区域特色品牌。探索“政

府引导+企业主体+社会资本参与”的PPP模式,引入专业环保企业负责底泥资源化项目运营。通过特许经营、收益共享等机制,保障项目长期稳定运行。

#### 4.4 公众教育与意识提升

公众认知与参与是底泥资源化利用的社会基础,需通过多维度宣传增强社会接受度。通过媒体、社区活动、科普基地等渠道,普及底泥资源化技术原理、环境效益和安全性,消除公众对“污染转移”的疑虑。定期发布底泥处理与资源化利用数据,增强信息透明度。在底泥资源化项目周边社区开展公众参与活动(如环保讲座、工厂参观),建立示范工程(如底泥制砖用于社区建设),让公众直观感受资源化成果。将底泥资源化纳入中小学环保课程,培养青少年环保意识。在高校和职业院校开设相关专业,培养底泥处理与资源化利用的技术人才和管理人才。建立公众监督平台,鼓励社会组织和公民参与底泥资源化项目的环境监管。通过意见反馈机制,及时优化项目实施方案,提升社会满意度。

#### 结束语

河道疏浚底泥资源化利用是破解“以填代治”困局的关键举措,其成功依赖于技术突破、政策激励与公众参与的协同发力。未来需进一步强化跨领域技术融合,完善全链条监管体系,推动市场化运营模式创新,同时提升公众对资源化产物的认知与接受度。唯有如此,才能将底泥从“环境负担”转化为“资源宝库”,为水生态治理与循环经济注入新动能,助力实现人与自然和谐共生的现代化目标。

#### 参考文献

- [1]周显.庞波.娄宗斌.等.近海河道污染底泥脱水固化试验研究[J].人民长江,2022,53(8):198-203,209.
- [2]彭亚三.赵衍令.周思洋.等.河道清淤资源化利用的工程应用[J].湖南水利水电,2022(4):82-84.
- [3]孙即梁.田旭.董家晏.等.原位固化技术在河道底泥资源化建设生态护岸中的应用[J].净水技术,2022,41(S1):226-230,295.
- [4]吕洁华.孙喆.张滨.新型城镇化与生态环境协调发展及关键因素判别[J].生态经济,2020,36(6):83-88.