

# 疏浚底泥的原位生态护岸技术在河道治理中的应用研究

徐一尧

(上海奉贤建设发展集团市政公路工程有限公司, 上海市 201400)

**摘要:** 原位河道生态修复技术(In-situ river ecological remediation, ISER)通过“淤泥治理—资源转化—生态修复”的闭环路径,创新实现了疏浚泥的低碳再生利用,且兼具了环境友好和工程经济双重优势。资源循环型特征有效破解传统淤泥外运处置的高碳排困境,而复合生态护岸结构在增强岸坡稳定性的同时,显著提升了河湖水陆交错带的生物栖息功能。以奉贤区庄行镇生态清洁小流域(长堤村、潘垫村等治理单元)项目利用ISER生态护岸技术修复项目为例,详细说明疏浚泥原位资源化建设生态护岸技术的施工管理要点及质量控制标准,旨在规范ISER生态护岸的施工与管理,确保项目安全实施,为ISER生态护岸工程的建设提供借鉴。

**关键词:** 小流域;疏浚泥;ISER生态护岸;施工管理;质量控制

中图分类号: TV851

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)05-0192-05

## Research on Application of In-situ Ecological Bank Protection Technology in Dredged Sediment of River Management

XU Yiyao

(Shanghai Fengxian Construction and Development Group Municipal Highway Engineering Co., Ltd., Shanghai 201400, China)

**Abstract:** The in-situ river ecological remediation (ISER) technology is used to innovatively realize the low-carbon recycling of dredged sediment through the closed-loop mode of “mud treatment - resource conversion - ecological remediation”, and combines the dual advantages of environmental friendliness and engineering economy. The resource recycling feature effectively resolves the high carbon emission predicament of traditional sludge transportation and disposal. And the composite ecological bank protection structure not only enhances the stability of the bank slope, but also significantly improves the biological habitat function of the water-land transition zone of rivers and lakes. Taking the ISER ecological bank protection technology for restoration utilized in the ecological clean small watershed project in Zhuangxing Town, Fengxian District (including the governance units such as Changti Village and Pandian Village) as an example, the construction management essentials and quality control standards of in-situ resource-based ecological bank protection technology of dredged sediment are explained in detail. The aim is to standardize the construction and management of ISER ecological bank protection and ensure the safe implementation of the project, which provides the references for the construction of ISER ecological bank protection projects.

**Keywords:** small watershed; dredged sediment; ISER ecological bank protection; construction management; quality control

## 0 引言

河湖生态治理工程中,清淤疏浚作为保障行洪安全与生态功能的核心环节,兼具双重效益:一方面通过清除富营养化表层沉积物消减内源污染负荷,另一方面可恢复水域自净容量与水文连通性。但是,疏浚泥浆天然含水率高,孔隙比大,塑性差,抗剪

强度低,不能直接应用于工程中,在转输处置过程中极易造成二次污染。传统脱水填埋模式面临土地资源约束与环境风险的双重压力,使得淤泥资源化处置成为制约小流域综合治理效能提升的关键瓶颈<sup>[1-2]</sup>。

鉴于此问题,原位利用疏浚泥以固化稳定理论为基础,构建生态护岸(ISER),开辟了一条新的淤泥再生利用途径。该技术采用特征固化剂触发氧化-络合-吸附多级反应,将淤泥转化为具有微孔结构(孔隙率5%~25%)的生态结构,同步实现污染物封

收稿日期: 2025-01-05

作者简介: 徐一尧(1989—),男,学士,工程师,从事市政公路、水利项目管理工作。

存与岸坡抗侵蚀强化( $\leq 2.0$  m/s)。相较于传统硬质护岸,ISER 技术使材料碳足迹降低 40%~60%,且通过构建多层级生态界面显著提升滨岸带生物多样性。当前研究多聚焦于生态尺度及性能验证,针对复杂工况下的施工参数优化(如分层填筑压实度控制、固化剂动态配比调节)及长期生态-力学耦合效应监测仍存在显著研究缺口。本文以奉贤区庄行镇生态清洁小流域(长堤村、潘垫村等治理单元)项目 ISER 生态护岸示范工程为载体,系统解析施工工艺的质量控制基准与全周期管理范式,以期建立可复制的技术应用框架。

1 工程概况

庄行镇得天独厚的区位优势以及近几年消劣的水环境整治,为其开展生态清洁小流域治理提供了坚实的保障。通过开展生态清洁小流域治理,水域岸线同治,打造幸福河湖,将进一步夯实庄行镇的生态基础,区域环境面貌将显著提升,水质明显改善并持续向好,为庄行镇生态清洁小流域提供优质的生态本底;应用 ISER 生态护岸修复技术对(圩内)后方接林带或农田且现状岸坡较陡的区域进行修复,通过在 ISER 生态护岸种植平台进行景观植被的栽植,以增强河道的整体生态景观为目的,一方面加固桩板护岸坡脚;另一方面,通过种植景观植被。

A1 型护岸设计河底高程 0.5 m,设计河床线为 1:2.0 斜坡至高程 3.30 m 处,后接现状后方场地(农田、林地)。在坡面高程 2.0~3.0 m 处设置厚 200 mm 的固化土,其中在高程 2.0 m 处设置 500 mm×650 mm 的格梗。河道两岸陆域绿化较为完整,在高程 2.3~2.8 m 处设置宽约 1 000 mm 水生植物种植区,在高程 2.8~3.3 m 处设置宽约 900 mm 斜坡绿化种植区(生态植被缓冲带)。工程设计图如图 1 所示。

2 河道护岸施工工艺

ISER 生态护岸技术基于疏浚淤泥与弃置土壤的 Ca、Si、Al、Fe 的赋存特征,开发多相耦合固化体系。通过引入硅酸盐熟料、矿粉、高岭土、粉煤灰、沸石等矿物掺合料,触发水化-离子交换复合反应链<sup>[3]</sup>。

ISER 生态护岸技术通过全断面地形适配性设计,实现了从河床基底(0~1 m 高程)至陆域缓冲带(+2.0~2.5 m 高程)的梯度防护体系,该模块化结构能够满足不同水文单元在力学与生态方面的双重需求。生态护岸主要分为两大类:固化土、海绵土,其

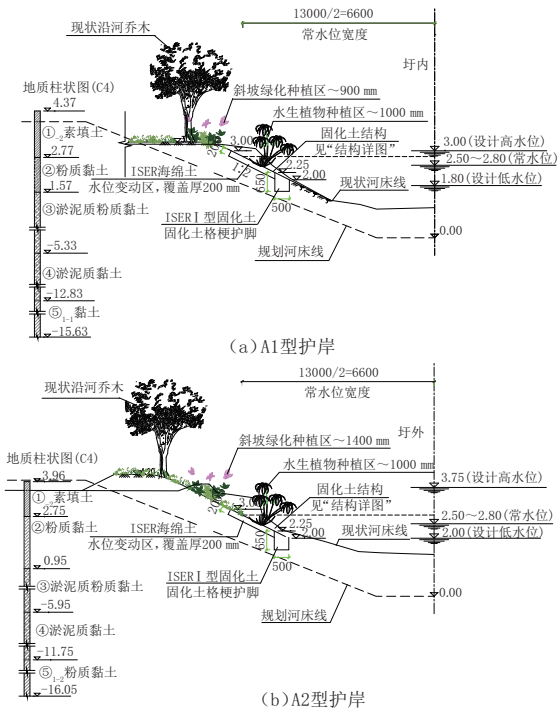


图 1 断面设计图

建造工艺包括:准备工作、淤泥的开挖作业、现场的混合拌合、摊铺成型、成品的养护以及植物的种植等步骤<sup>[4]</sup>。图 2 所示为通过疏浚底泥原位制作生态护岸的技术路线。

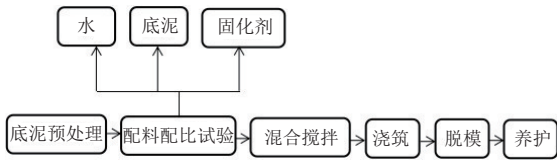


图 2 工艺流程图

根据底泥理化性能和 ISER 生态护岸设计指标要求,在配料配比试验中,底泥、固化剂和水比例应通过试验确定。ISER 生态护岸的技术特点主要是生态优先,把保护生态作为治理河道的第一要务。其建设遵循低干扰-全周期生态耦合原则,基于水文动力学模拟、地质参数反演及生物群落演替规律,构建多维度生态设计框架。通过建立标准化技术导则、构建生态参数阈值体系、开发工程韧性优化算法及制定全生命周期效益评估规程,形成“诊断-干预-验证”闭环管理系统,确保治理工程在碳汇增益和生物廊道连通性维度实现长效可持续。

3 过程管理与质量控制

3.1 过程管理

施工准备是确保 ISER 生态护岸工程质量与生态效益的关键环节。基该本项目实践,提出“四维一体”施工准备体系。

(1)多源数据整合与场地适应性评价:开展场地多维度勘测,需要对地形地貌、水文地质、建(构)、交通路网、管线分布等要素进行综合评价。精准识别环境风险,确保施工安全并降低对周边生态与设施的影响。

(2)质量控制编制与优化:制定施工组织设计(CPM网络图关键路径误差 $<3\%$ ),明确资源配置强度(单位面积材料损耗率 $<5\%$ );建立设计变更管控流程(变更响应时间 $<24\text{ h}$ ),确保施工一设计一致性(偏差率 $<1\%$ )。

(3)绿色施工界面标准化建设:实施"四区分离"布置(作业区、材料区、设备区、生态缓冲区),设置智能围挡系统;完成专用设备安装调试(水上平台、淤泥固化强制搅拌机),通过第三方检测认证(合格率100%)。

(4)水文调控与交通组织优化:采用打坝围堰进行施工降水;规划生态型施工便道(宽度 $\geq 0.5\text{ m}$ ,承载力 $\geq 1\text{ t}$ ),确保人工便道通行安全。

通过上述体系化准备,可实现施工准备期缩短20%~30%,初期返工率降低至 $<1\%$ ,为生态护岸工程的顺利实施奠定坚实基础。

## 3.2 原材料质量控制

### 3.2.1 淤泥质量要求

在使用疏浚泥进行生态护岸建设之前,需先对淤泥进行检测,以确保其符合国家标准。一旦淤泥被专业鉴定为危险废物,必须严格按照国家法律法规要求,以安全可靠的方式妥善处理;只有当淤泥检测结果符合标准,完全满足使用要求时,才可利用。疏浚淤泥中夹杂的体积较大的杂质需去除。

疏浚泥一般具有黏性高、含水量高、透水性低等特点,一般含水量在40%~100%。为了确保生态护岸的质量,需要将疏浚泥的含水量控制在40%~90%。如果含水量太低,搅拌时会不均匀,凝固速度也会变慢,这时可以适当洒水调节;如果含水量太高,护岸的强度和成型效果会变差,这时可以通过晾晒来降低含水量。

不同河道的淤泥有不同的有机质含量。相比污染严重的黑臭河道淤泥有机质含量可达10%~40%,一般河道淤泥有机质含量在1%~3%。因此,在施工前需要对疏浚泥的有机质含量进行检测,并根据检测结果调整固化剂的用量。一般来说,有机质含量越高,固化剂的用量也需要相应增加,以确保护岸的强度达到设计要求。

### 3.2.2 固化剂质量要求

固化剂应先检测,各项物理指标达到设计文件规定的条件后,方可进入施工现场。所有未经审核的物资一律禁止入场。对检查结果为不合格的原料,要加倍复查,对复查不合格的,必须实行清退处理,对检查结果为不合格的原料,必须予以清退。

### 3.2.3 配合比要求

生态护岸的配比设计需在施工前采集清淤泥样,并通过实验室试验确定其配比,以满足结构强度、孔隙率、干密度等设计要求。在做配比试验时,直接在试室内将混合材料进行配比制备。用于试验的原材料,包括发泡剂、固化剂等,要严格控制与施工所用相同。各种原材料、添加剂的计量须准确。

## 3.3 固化过程质量控制

### 3.3.1 淤泥开挖

在开展河道淤泥开挖作业之前,需要精确的测量放样工作,以保证开挖的尺寸和位置符合设计要求。同时,详细排查河道两侧边坡土质,摸清土型、结构、水量等情况,做到对症下药,确保边坡稳定,切实做到底子清、情况明。对土质较差的,要制定加固完善方案,提高土体承重能力。此外,必须明确地下管线的走向和埋深,制定保护措施并获得批准后,才能开始施工。按照从上到下、分层分段的顺序,在土方开挖过程中,反铲挖土机将扮演重点角色。总而言之,保障开挖工程顺利开展,各项工作缺一不可。

### 3.3.2 原位拌合

在生态护岸施工中,为确保护岸质量,材料混合需精准把控。现场拌合采用挖机搅拌斗精准计量,依设定比例投入固化剂、淤泥等,经充分搅拌达流态,且无大颗粒杂物。施工人员需人工巡查,去除垃圾、树枝等杂物,保证拌合料纯净。固化剂与泥沙的均匀混合是施工质量控制的核心要点。施工人员需实时监测搅拌过程,确保两者充分融合,以防因混合不均而产生质量问题。

(1)混合工艺优化:通过专用搅拌装置对固化材料与泥沙进行均质化处理,重点调控投料配比与机械运转参数,实现物料颗粒的完全融合。操作过程中需精准调节搅拌时长与设备转速阈值,使复合体系达到理想的分布状态。

(2)原材控制:为确保工程质量,我们选用高性能固化剂,并严格执行质量检测标准,全面满足工程规范要求。

(3)过程控制:建立阶段性工程监测机制,量化

分析交联度演变曲线,验证工艺有效性。基于实时数据反馈实施环境参数优化,精准调控湿度、温度,定向诱导材料相变进程,驱动固化反应正向发展。

该工程质量管控体系实施分层次验收标准,核心指标涵盖:a.材料性能控制体系,包括胶凝材料基础参数、水化反应基准配比、28 d龄期材料力学性能指标(含压缩模量、密实度、孔隙分布参数);b.工程形态控制体系,涉及坡体几何精度(平面度偏差、倾角允差、结构层厚度)、植被覆盖生态恢复效能系数。

3.3.3 摊铺成型

在生态护岸施工过程中,主要采用机械摊铺技术,并辅以人工操作以确保施工质量。在固化土的摊铺阶段,必须设置模板以塑造所需形状,而海绵土则需采用人工抹平,以确保其平整度、尺寸等均符合规范要求。

3.3.4 成品养护

固化土施工完成,需要进行为期 7 d 的养护工作,以确保其强度和稳定性逐步形成。在此期间,应严格限制人员进入施工区域,禁止一切可能对护岸造成破坏的行为。针对极端低温环境,为防止固化土遭受冻害,应采取一系列成品保护措施,可使用土工布覆盖,以起到初步的保温和隔离作用;在此基础上,加盖一层薄膜,利用其良好的气密性进一步增强保温效果;最后,在最外层覆盖草帘、草席等保温材料,这些材料具有较好的保暖性能和一定的透气性,能够有效抵御寒冷气候对固化土的不利影响,确保其在养护期间处于适宜的温度环境中,从而保障固化土的硬化过程正常进行,保证生态护岸的施工质量。固化土浇筑完毕应采用保湿养生,保持固化土的含水率在 15% 左右(具体根据当天气候);如养生期间气温超过 25℃,应在每日傍晚对固化土进行浇

水,中午太阳直晒时应加盖遮阳网。

3.3.5 护岸绿化种植

因海绵土护坡浇筑完成后表面为光面,直接铺设草皮将不利于草皮的扎根固定,应再草皮铺放种植前先将海绵土表面全部用铁耙(建议)拉毛 1 cm 左右后,再继续后续的铺放种植施工:草籽应选取颗粒饱满、干净的,非陈年旧籽或是霉变虫蛀的;种植前清除海绵土种植面上的杂物、垃圾、油渍等,塑造良好的种植环境;

将海绵土种植面表面使用铁耙(建议)拉毛 1 cm 左右,以便草籽或草皮根系向下伸展扎入,并在拉毛后、种植前对种植面进行浇水,浇水需注意将种植面完全浇透;草籽播撒应覆盖种植面全域。铺设草皮时,应采用紧密铺设或间隔铺设的方法。紧密铺设时,草皮之间应紧密衔接,不留缝隙;间隔铺设时,间隙应保持均匀,并填充相应的种植土壤。草皮铺设后滚压、灌水浇透,在容易产生滑移的部位应采用扦插固定的方式进行锚固,使草皮按照既定区域生长。

草皮、草籽铺放好后要及时进行养护,根据气温度的变化,决定每日浇水 1~2 次,并持续保持至少 1 周的养护工作。

注:如遇到高温天气,建议海绵土表面拉毛后再铺设 5 cm 素土洒水浇透后再铺放草皮或草籽。草皮护坡的施工建议在海绵土结构完成后尽早实施,这将更有助于植物的生长。

3.4 质量验收标准

质量验收环节,检验批的主控项目聚焦于固化剂原材料质量、配合比、28 d 无侧限抗压强度、干密度和孔隙率等关键指标。此外,一般项目则涉及坡面平整度、坡度、厚度以及草皮存活率等方面<sup>[5]</sup>。详见表 1。

表 1 质量验收检测表

| 项目   | 检查项目           | 质量标准或允许偏差/mm               | 检测频率     |    | 检测方法                   |
|------|----------------|----------------------------|----------|----|------------------------|
|      |                |                            | 范围       | 点数 |                        |
| 主控项目 | ISER 固化剂等原材料质量 | 按设计要求                      | 抽样检查进场批  | 1  | 进场检验、型式检验报告、出厂检验报告或质保书 |
|      | 配合比            | 应符合配合比试验要求                 | 按规范和设计要求 |    | 配比单和施工记录               |
|      | 28 d 无侧限抗压强度   | 符合设计要求                     | 每单元工程    | 1  | 抽样送检,查试验报告             |
|      | 干密度            | 符合设计要求                     | 每单元工程    | 1  | 抽样送检,查试验报告             |
|      | 孔隙率            | 符合设计要求                     | 每单元工程    | 1  | 抽样送检,查试验报告             |
| 一般项目 | 坡面平整度          | 不超过坡面厚度的 20%,且≤50 mm       | 30 m     | 1  | 2 m 靠尺量                |
|      | 坡面坡度           | 不陡于设计值                     | 30 m     | 1  | 坡度尺和吊线测量               |
|      | 坡面厚度           | 设计厚度的±15                   | 30 m     | 1  | 钢尺量                    |
|      | 草皮             | 草皮铺设基本均匀,成活面积 70% 以上,基本无空白 |          |    |                        |

在进行项目施工过程中,由于无法实施断水措施,因此采取了水上浮台作业方式。挖掘机依托浮

台平台开展河道淤泥挖掘任务,凭借搅拌斗精准掌控固化剂同淤泥的配比。施工时,务必把水上作业

安全放在重要位置。工程竣工后,经建设单位严格查验,所建 ISER 生态护岸全面契合表 2 规定的技术指标,工程质量检验顺利通过。

表 2 ISER 生态护岸设计参数

| 序号 | 名称              | 干密度/<br>(g·cm <sup>-3</sup> ) | 28 d 抗<br>压强<br>度/MPa | 孔隙<br>率 | 允许不<br>冲流速/<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | 适用形式        |
|----|-----------------|-------------------------------|-----------------------|---------|-------------------------------------|-------------|
| 1  | ISERII 型<br>海绵土 | ≥0.8                          | ≥0.3                  | ≥15%    | ≤2.0                                | 适用于护<br>坡结构 |
| 2  | ISERI 型<br>固化土  | ≥1.0                          | ≥0.5                  | ≥15%    | ≤2.0                                | 适用于格<br>埂结构 |

新建的 ISER 生态护岸不仅加固和修复了原河道的断面,还改善了水质,为水生生物提供了良好的栖息环境,帮助恢复了河道的水生态系统。施工前后的对比效果见图 3。



图 3 施工现场图

4 结 语

ISER 淤泥原位资源化生态护岸技术通过将疏浚底泥转化为多孔海绵体结构(28 d 抗压强度≥2.5 MPa),创新性解决水位变动区岸坡侵蚀问题,其水土保持

系数较传统工艺有幅度提升。该技术实现以下两方面突破:

(1)生态效益突出,透水结构为生物提供栖息环境,河道生态自净能力提升;

(2)低碳特征明显,有效减少了固体废弃物的排放,碳足迹相较于传统工法有所降低。

工程实践证明,ISER 护岸技术能够增强滞洪能力,提升岸坡安全系数。其“疏浚—固化—成型”的一体化工艺成功实现了生态修复与防灾功能的协同效应,目前已经成为海绵城市建设中河道治理的优选技术方案。

参考文献:

[1] 田旭,何贵堂,王铁,等.利用疏浚底泥制备生态护岸材料在河道原位生态治理中的应用[J].净水技术,2020,39(7):176-181.

[2] 王迪.疏浚底泥生态护岸材料在河道治理中的应用[J].中国水能及电气化,2021(5):64-68.

[3] 刘蔚.基于生态河道理念的城市河道景观设计思考与实践——以北京市永引渠滨水绿地为例[J].中国水能及电气化,2021(8):57-64.

[4] 张芬.原位固化技术在高有机质底泥资源化利用中的试验[J].净水技术,2023,42(增刊1):253-257;317.

[5] 密志超,田旭.疏浚底泥原位利用建设生态护岸技术施工管理与质量控制[J].净水技术,2024,43(增刊2):165-169.

[6] 王华鹏,李金城,韦春满,等.水体沉积物原位修复技术与进展[J].中国农村水利水电,2021(5):87-96.

[7] 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(增刊1):226-230;295.

[8] DG/TJ 08-2331—2020,原位利用疏浚泥建设生态护岸技术标准[S].

(上接第 191 页)

学院院报,2018,35(10):58-63.

[2] 李国林,宋春雨,李硕娇,等.滨水高堤路拓宽差异沉降数值模拟及现场监测[J].水利与建筑工程学报,2016,14(6):96-101.

[3] 汪小茂,高红艳,李亮.城市堤路结合建设工程关键技术问题研究——以武汉市滨江大道建设工程为例[J].人民长江,2011,42(20):4-6.

[4] 胡晓红,邓越胜.堤防道路改造技术研究及应用[J].长江科学院院报,2020,37(12):67-71,80.

[5] 杨壮,张钰,田洋,等.一种利用堤防改造的含绿道的市政道路结

构:中国,202221030691.6[P].2022-09-23.

[6] 尹文锋,龚伏秋,汪小茂,等.南京浦口滨江大道路堤结合段吹填沙路基设计[J].人民长江,2013,44(5):8-10.

[7] GB 50286—2013,堤防工程设计规范[S].

[8] CJJ 194—2013,城市道路路基设计规范[S].

[9] 柳育刚.堤坝与道路结合工程路基压实度取值的讨论[J].东北水利水电,2021,39(3):10-13.

[10] 付建军,陈成,梁均,等.沿江堤路新老路基裂缝扩展微观机理[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2022,37(3):44-50.