

DB37

地方标准

DB XX/ XXXXX—XXXX

水体重金属污染底泥原位治理修复技术指南

Technical guide of in-situ remediation for heavy metal contaminated sediment

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

山东省市场监督管理局

目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总体要求与工作程序.....	2
5 原位覆盖技术.....	4
6 原位植物修复技术.....	6
7 监控式自然修复技术.....	8
附录 A（资料性附录）山东省常见对底泥重金属修复效果良好的水生植物.....	10
附录 B（资料性附录）山东省常用水生植物种苗质量要求及定植密度表.....	11

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由山东省生态环境厅提出。

本标准由山东省环保标准化技术委员会归口。

本规范主要起草单位：

本规范主要起草人：

水体重金属污染底泥原位治理修复技术指南

1 范围

本文件规定了河流、湖泊（水库）等水体重金属污染底泥原位治理修复的总体要求、工作程序及技术要点等。

本文件适用于重金属污染程度较轻、适合采用原位治理修复的污染底泥。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有修改单）适用于本文件。

GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB 15566.1 公共信息导向系统设置原则与要求 第1部分：总则

CJJ 90 生活垃圾焚烧处理工程技术规范

HJ 915 地表水自动监测技术规范（试行）

JGJ/T 188 施工现场临时建筑物技术规范

SL 319 混凝土重力坝设计规范

SL/T 793 河湖健康评估技术导则

DB 37/T 4327 底泥污染状况调查点位布设技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

底泥 sediment

经过长时间物理、化学及生物等作用及水体传输而沉积于水体底部所形成的黏土、泥沙、有机质及各种矿物的混合物。

3.2

原位修复技术 in-situ remediation technology

不移动受污染的底泥，直接在发生污染的位置对其进行原地修复或处理的技术。

3.3

原位覆盖技术 in-situ capping technology

利用具有较好阻隔作用的材质覆盖于污染底泥上，将底泥中的污染物与上覆水分隔离，以降低向水体释放能力的一种技术。

3.4

原位植物修复技术 in-situ phytoremediation technology

综合利用植物系统及其根系与根际微生物的吸附、吸收转运、稳定、阻隔过滤等多种功能，萃取和固定底泥中的重金属污染物，或减低污染物中的重金属毒性，达到清除污染、修复底泥目的。

3.5

监控式自然修复技术 Monitored natural recovery technology

在有计划的监控模式下，通过水体底泥中自然发生的物理、化学及生物等自然修复作用，将底泥中污染物的数量、毒性、生物有效性降低到风险可接受水平。

4 总体要求与工作程序

4.1 总体要求

4.1.1 应确保外源污染得到有效控制的前提下，方可开展重金属污染底泥治理修复工作。

4.1.2 对于多区段重金属底泥污染的河流，应明确治理顺序，确保上游区段不影响下游区段的治理效果。

4.1.3 重金属污染底泥原位治理修复场地应设置标志牌和警示牌，其内容和位置应符合 GB 15566.1 的相关规定。

4.1.4 可在适当位置建设地表水水质采样站，例行监测底泥治理修复工程对水质的影响，其建设可参照 HJ 915 要求执行。

4.1.5 采用原位覆盖技术时，应采取有效措施，避免对河道防洪、湖库库容及其他水利功能造成不利影响。

4.1.6 施工现场临时建构物的建设参照 JGJ/T 188 要求执行。

4.1.7 技术实施过程中应采取制度控制措施。制度控制包括限制受污染区域水体利用方式、通知和公告底泥潜在风险、制定限制进入或使用条例等方式，多种制度方式可同时使用。

4.2 工作程序

4.2.1 底泥污染调查

重金属污染底泥调查点位布设参照 DB37/T 4327 要求执行，可根据实际需要适当增加采样断面或采样点位，柱状样采集深度依据现场情况确定。

4.2.2 修复目标提出

4.2.2.1 目标污染物确定

依据 4.2.1 发现的重金属污染物种类，结合污染水域周边的地质背景、水体功能区划和水文地质等因素，合理确定底泥重金属污染治理修复的目标污染物。

4.2.2.2 修复目标值提出

根据底泥目标污染物种类，宜以 GB 15618 规定的农用地污染风险筛选值为底泥污染修复目标值；当筛选值低于当地的环境背景值或目标污染物不是 GB 15618 规定的污染物项目时，宜选择背景值作为底泥污染修复目标值。

4.2.3 修复技术确定

4.2.3.1 对于重金属污染程度较轻的底泥，依据水体健康评估及修复目标，筛选确定适宜的污染底泥修复技术。水体健康评估参照 SL/T 793 要求执行。

4.2.3.2 水体健康评估分级为亚健康及以下，水深较深（ $\geq 3\text{m}$ ），水文地质等条件对覆盖材料扰动不大的，宜选用原位覆盖技术。

4.2.3.3 水体健康评估分级为亚健康及以下，水深较浅（ $< 3\text{m}$ ），适宜水生植物生长的，宜选用原位植物修复技术。

4.2.3.4 水体健康评估分级为健康及以上的，宜选用监控式自然修复技术。

4.2.3.5 为提高污染底泥修复效果，根据工程实际情况，三种原位修复技术可联合运用。

4.2.4 修复方案制定

根据确定的修复技术，制定技术路线，确定污染底泥修复技术工艺参数，制定监控计划，估算工程量、费用和周期，形成备选技术方案。从技术指标、工程费用、环境及健康安全等方面比较备选技术方案，确定最优技术方案。

4.2.5 工程设计及施工

根据修复技术方案，开展修复工程设计及施工。工程设计根据开展工作阶段划分为初步设计和施工图设计，根据专业划分为工艺和辅助专业设计。工程施工宜包括施工准备、施工过程，施工过程应同时开展环境管理。

4.2.6 工程运行监测

4.2.6.1 应定期开展工程运行监测。

4.2.6.2 监测点（断面）布设应考虑代表性、合理性、连续性和准确性等因素，宜设置在底泥污染物浓度较高、亲水区、靠近敏感点等典型区域，采样深度依据现场情况确定。

4.2.6.3 监测指标包括底泥、水质及水生生物指标。前两者分别为底泥及水体中的目标污染物浓度；后者为水生植物组织及底栖生生物体的目标污染物含量。采用原位覆盖技术时应考虑增加覆盖层的工程性能指标监测，工程性能指标包括覆盖层的阻隔性能、连续性 & 完整性。

4.2.6.4 应每季度开展 1 次水质指标和底泥指标监测。宜在每年的 5 月、8 月、10 月各开展 1 次水生生物指标监测。针对原位覆盖技术，宜每年开展 1 次覆盖层的工程性能指标监测。

4.2.7 修复效果评估

4.2.7.1 底泥修复效果评估标准值为底泥污染修复目标值。

4.2.7.2 可采用逐一对比的方法进行底泥修复效果评估。

4.2.7.3 对尚未达到修复目标的污染底泥，应继续开展长期环境监测。

5 原位覆盖技术

5.1 材料筛选原则

宜根据污染底泥目标污染物种类，结合水深、水流动性等水文特征等进行覆盖材料筛选，一般可遵循以下原则：

- a) 选择性：优选对底泥目标污染物具有良好阻隔、吸附性能的覆盖材料；
- b) 生态性：宜选择环境友好、不造成底泥及水体二次污染的覆盖材料；
- c) 经济性：宜选择来源广泛，价格低廉的覆盖材料。

5.2 材料选择

5.2.1 修复区域有足够的水深且底泥污染物潜在释放通量不高时，可选用未污染的底泥、沙子、砾石、钙质膨润土、灰渣、方解石等惰性颗粒类材料。

5.2.2 修复区域水深较浅时，可选用土工织物类材料。

5.2.3 为增强覆盖材料对污染物的吸附阻隔效果，可选用改性黏土、改性沸石等改性活性

颗粒材料。

5.3 材料铺设

5.3.1 覆盖分层

5.3.1.1 可根据底泥污染状况、材料特性等，设置单层或多层覆盖。单层覆盖采用一种覆盖材料，多层覆盖是将多种材料分层覆盖。

5.3.1.2 在分层铺设顺序上，分层中无土工织物类材料时，细颗粒类材料宜设置在底层；分层有土工织物类材料时，宜将其设置于底层。

5.3.2 覆盖厚度

5.3.2.1 宜根据底泥污染特征及覆盖材料类型，设置覆盖层厚度。采用相同的覆盖材料时，底泥污染越严重，覆盖层厚度应越厚。

5.3.2.2 当采用沙子等惰性材料覆盖时，单层覆盖厚度宜在 20cm~50cm 之间。

5.3.2.3 当采用活性覆盖材料时，单层覆盖厚度宜在 10cm~30cm 之间。

5.3.2.4 多层覆盖时，覆盖层厚度宜通过试验确定。

5.3.3 铺设方式

5.3.3.1 宜根据底泥污染区域特征、覆盖材料物理性质及水体流动特性等确定覆盖材料铺设方式。

5.3.3.2 污染底泥区域靠近岸边，处于卡车或起重机等机械设备倾倒可达到范围内的，可采用机械设备表层倾倒的铺设方式。

5.3.3.3 污染底泥区域面积较大，河湖等水体适宜行船时，可采用驳船表层撒布或水力喷射表层覆盖的铺设方式。

5.3.3.4 水流扰动较大时，可采用驳船管道水下覆盖。

5.3.3.5 使用土工织物类覆盖材料，可采用机械或人工铺设。

5.3.4 铺设要求

5.3.4.1 采用驳船管道水下覆盖时，无机颗粒类材料在水中自由落差不宜大于 0.5m。

5.3.4.2 铺设土工织物类覆盖材料，应做到和底泥基面严密贴合，覆盖层平整连续。覆盖材料宜自然搭接，接缝宜错开，应留有一定的搭接宽度。底泥表面有一定坡度时，应采用上幅压下幅的方式进行搭接。

5.4 维护管理

5.4.1 施工期应及时评估覆盖材料投放效果，及时解决投放中存在的问题。

5.4.2 一旦覆盖层收到外界强烈扰动，应及时对覆盖层的工程性能进行检测。

5.4.3 如需在覆盖区域周边开展河道边坡整治或湖泊（水库）开展除险加固等水利工程活动，应预先评估其对覆盖层的影响，并相应采取有效措施，确保覆盖层的完整性。

5.4.4 在船舶航行通过区域实施的覆盖修复工程，应增加监测频次，一旦发现覆盖层遭到侵蚀或破损，应及时补充或更换覆盖材料。

6 原位植物修复技术

6.1 植物筛选原则

宜根据底泥目标污染物种类，结合水深等水文特征，选择适宜的水生植物种类，一般可遵循以下原则进行筛选：

- a) 富集性：优选重金属富集性能强、生物量大的植物；
- b) 优选性：优选本土植物和先锋植物，不宜引进外来植物；
- c) 观赏性：在满足生态修复功能的前提下，选择兼具观赏和社会价值的植物；
- d) 易维护：选择易于定植、成活及收割的植物。

6.2 植物筛选

6.2.1 山东省常见对底泥重金属具有良好修复效果的水生植物见附录 A。

6.2.2 靠近河、湖岸边或相对静止、流速低缓的水体，可选择定植挺水、浮叶植物；靠近河流中泓或湖泊中央有一定水深处，可选择定植沉水植物。

6.3 种苗定植

6.3.1 分区定植

6.3.1.1 可根据污染物种类、水深等，将受污染底泥区域划分为若干修复分区，以便于水生植物配置及定植。挺水植物宜定植在岸边浅水处；浮叶植物、沉水植物宜定植在河道或湖（库）水面中央。

6.3.1.2 在底泥受污染区域种植挺水、浮叶及沉水植物：宜结合修复分区设置隔离围栏及围护设施，减缓船行波对植物及底泥的冲刷；沉水植物种植初期应设置隔离及围护设施，控制沉水植物无序蔓延。

6.3.2 定植季节

挺水、浮叶植物定植以春季为宜，一般气温低于 5℃时不宜定植；沉水植物播种宜在春、夏季进行。

6.3.3 定植水深

挺水植物、浮叶植物种苗的定植水深不宜超过 30cm；定植完毕，应根据植物生长逐渐将水深提高至常水位。对水位随季节变化较大的河道，在不影响河道防洪及其他水利功能的情况下，可利用河道原有水位调节设施或新建溢流堰调节水位，以满足水生植物定植及生长要求。溢流堰的设置参照 SL 319 要求执行。

6.3.4 种苗质量

应选择植株健壮、新芽饱满、根系完整、无病虫害、无枯枝叶的种苗，山东省常用水生植物种苗质量要求见附录 B。

6.3.5 定植规格和密度

应根据种苗规格、质量及设计要求确定定植密度，山东省常见水生植物定植密度见附录 B。

6.3.6 定植方法

种苗应随到随种；若不能及时种植，应采取覆盖、假植或浸泡水中等保护措施。挺水、浮叶、沉水植物可选择容器定植、直接定植等方法，直接定植可采用容器苗定植、抛掷定植和叉植定植形式。

6.4 维护管理

6.4.1 应在水生植物的不同生长期进行管理，补种缺苗，勤除杂草。

6.4.2 应对枯黄、枯死和倒伏植株及时修剪，对过密植株适当删剪。冬至后至立春萌动前应对枯萎枝叶进行删剪。

6.4.3 水生植物病虫害防治应采取预防为主、治疗为辅的方针：应优先采用物理、生物方法防治病虫害，不宜使用除草剂、杀虫剂等易破坏生态系统的药剂。

6.4.4 有条件的情况下，可及时调整挺水、浮叶植物的生长水位，遵循由浅入深的原则。沉水植物生长水深与透明度比例应在 2:1 以下。

6.4.5 宜根据植物生长及富集重金属情况确定收割次数，收割时间应在植物休眠期或者枯

萎后。收割后的植物可捆扎、堆存，降低含水率，晾干后应在封闭环境中焚烧处置，参照 CJJ 90 要求执行。

7 监控式自然修复技术

7.1 修复资料收集

7.1.1 收集污染底泥基本理化性质及其污染物随时间变化的相关监测数据等，分析底泥污染物化学迁移转化过程，明确底泥污染物经化学迁移转化作用的衰减途径。

7.1.2 收集底泥污染物在水生植物、水生动物体内的含量与分布随时间变化的相关监测数据等，分析底泥污染物生态有效性的降低过程，明确底泥污染物经生物富集作用的衰减途径。

7.1.3 收集新生底泥产生量及其污染物含量随时间变化的相关监测数据等，分析新生底泥对底泥污染物的阻隔作用，明确底泥污染物经新生底泥物理隔离作用的衰减途径。

7.1.4 收集因水力扩散作用造成的底泥及上覆水污染含量随时间变化的相关监测数据等，分析水力扩散对底泥污染物迁移及下游水体的影响，明确底泥污染物经水力扩散作用的衰减途径。

7.2 修复趋势评估

7.2.1 基于历史监测数据，建立概念模型，合理确定修复时限；耦合底泥污染物的化学转化、生物富集、新生底泥物理隔离及水力扩散等迁移转化过程，建立底泥污染修复模型。

7.2.2 基于底泥污染修复模型，分析污染底泥修复趋势及修复时限内修复目标的可达性，并应通过专家评估。

7.3 技术要求

7.3.1 应通过历史及现场监控资料分析，明确判定污染底泥存在自然修复趋势，方可选用该技术。

7.3.2 技术实施过程中，应监控底泥、水体及水生生物指标等因素的变化，适时矫正底泥污染修复模型，并进行修复趋势分析。

7.3.3 监控发现底泥污染修复趋势减缓，预测在修复时限内无法达到修复目标时，可采取与原位覆盖技术或原位植物修复技术等联用的强化措施。

7.4 维护管理

- 7.4.1 应采取有效措施，保护水体水生生物生境，避免人类活动破坏水体自然修复功能。
- 7.4.2 应根据底泥污染修复模型验证反馈信息，及时调整监控模式及修复措施。
- 7.4.3 当联合原位覆盖技术时，维护管理参照本文件 5.4 相关要求。
- 7.4.4 当联合原位植物修复技术时，维护管理参照本文件 6.4 相关要求。

附录 A

(资料性)

山东省常见对底泥重金属修复效果良好的水生植物

底泥重金属 污染类型	水生植物
Cr	狐尾藻, 黑藻, 金鱼藻, 荷花, 睡莲, 芦苇, 石菖蒲, 黄菖蒲, 千屈菜, 慈姑
Cd	狐尾藻, 黑藻, 苦草, 伊乐藻, 香蒲, 芦苇, 荷花, 睡莲, 水葱, 灯芯草, 水生美人蕉, 水蓼
As	狐尾藻, 黑藻, 睡莲, 菹草
Zn	狐尾藻, 苦草, 金鱼藻, 香蒲, 芦苇, 菹草, 水葱, 花叶芦竹, 水菖蒲, 黄菖蒲, 花菖蒲, 慈姑
Cu	狐尾藻, 黑藻, 苦草, 伊乐藻, 金鱼藻, 香蒲, 芦苇, 荷花, 菖蒲, 睡莲, 菹草, 慈姑, 菱, 萍蓬草
Hg	狐尾藻, 金鱼藻, 水薄荷, 千屈菜
Pb	苦草, 金鱼藻, 香蒲, 芦苇, 菖蒲, 睡莲, 菹草, 灯芯草, 千屈菜, 慈姑
Ni	花叶芦竹, 香蒲, 水葱, 芦苇, 黄菖蒲, 狐尾藻

附录 B

(资料性)

山东省常用水生植物种苗质量要求及定植密度表

生活方式	植物名称	拉丁名	所属科名	质量要求	定植密度
挺水型	水葱	<i>Scirpus tabernaemontani</i> Gmel	莎草科	15-20 芽/丛	8-10 丛/m ²
	荷花	<i>Nelumbo nucifera</i> Gaertn	睡莲科	3-4 节藕	1-2 株/2m ²
	芦苇	<i>Phragmites communis</i>	禾木科	3-5 芽/丛	5-8 丛/m ²
	灯芯草	<i>Juncus effusus</i> L.	灯芯草科	20-25 芽/丛	12-16 丛/m ²
	水生美人蕉	<i>Canna glauca</i> L.	美人蕉科	5-7 芽/丛	16-20 株/m ²
	花叶芦竹	<i>Aruudo donax</i> L. cv. <i>versicolor</i>	禾本科	4-5 芽/丛	12-16 丛/m ²
	香蒲	<i>Typha angustata</i> Bory et chaub	香蒲科	不少于 10 芽/丛	20-25 株/m ²
	水菖蒲	<i>Acorus calamus</i> L.	南天星科	不少于 5 芽/丛	9-12 丛/m ²
	石菖蒲	<i>Acorus tatarinowii</i>	南天星科	8-10 芽/丛	5-6 丛/m ²
	黄花鸢尾 (黄菖蒲)	<i>Iris pseudacorus</i> L.	鸢尾科	3-4 芽/丛	9-12 丛/m ²
	花菖蒲	<i>Iris ensata</i> Thunb.	鸢尾科	3-5 芽/丛	12-15 丛/m ²
	千屈菜	<i>Lythrum salicaria</i> L.	千屈菜科	不少于 4 秆/株, 三年生	10-12 株/m ²
	花蔺	<i>Butomus umbellatus</i> L.	花蔺科	3-5 芽/丛	20-25 丛/m ²
	水蓼	<i>Polygonum hydropiper</i> L.	蓼科	3-4 芽/丛	5-8 丛/m ²
慈姑	<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	泽泻科	2-3 芽/丛	4-5 丛/m ²	
浮叶型	菱	<i>Trapa spp</i>	菱科	3 芽以上/丛	3-5 丛/m ²
	水鳖	<i>Hydrocharis dubia</i> (Bl.) Backer	水鳖科	蓬形 12cm 以上	30 株/m ²
	萍蓬草	<i>Nuphar pumilum</i> (Timm.) DC.	睡莲科	根茎长 8-10cm	1-2 株/2 m ²
	睡莲	<i>Nymphaea tetragona</i> Georgi	睡莲科	根茎长 5-8cm	1-2 株/2 m ²
沉水型	苦草	<i>Vallisneria natans</i> (lous) H.Hara	水鳖科	5-10 株/丛	10 丛/m ²
	黑藻	<i>Hydrilla verticillata</i> (L.f) Royle	水鳖科	10 芽以上/丛	9-12 丛/m ²
	伊乐藻	<i>Elodea nuttallii</i> (Planch.) H.St.John	水鳖科	5 芽以上/丛	25-36 丛/m ²
	金鱼藻	<i>Ceralophyllum demersum</i>	金鱼藻科	5-6 芽/丛	20-30 丛/m ²

	L.			
菹草	<i>potamogeton crispus</i> L.	眼子菜科	5-6 芽/丛	10-12 丛/m ²
狐尾藻	<i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	小二仙草 科	5-6 芽/丛	20-30 丛/m ²