

T/FJAS

团体标准

T/FJAS 016—2025

城市河湖内源磷污染治理锁磷剂应用技术 规范

Technical specifications for phoslock application in endogenous phosphorus
pollution control of urban rivers and lakes

2025 - 4 - 14 发布

2025 - 4 - 20 实施

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
5 锁磷剂类型及应用技术	2
6 实施与监测要求	4
7 注意事项	5

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件华大工程科技（厦门）有限公司提出。

本文件由福建省标准化协会归口。

本文件起草单位：华大工程科技（厦门）有限公司、巨茂建设投资有限公司、华侨大学、杭州沁霖生态科技有限公司、北京爱尔斯生态环境工程有限公司

本文件主要起草人：周真明、唐雅彬、周锋、武学军、徐志孟、曾婷婷、李静、孙祥骏

城市河湖内源磷污染治理锁磷剂应用技术规范

1 范围

本文件规定了城市河湖内源磷污染治理锁磷剂的适用范围，包括城市建成区范围内的景观水体、内河、湖泊等各类城市河湖系统，并系统规范了内源磷污染治理过程中锁磷剂的选型、投加、监测等技术要求。

本文件适用于镧基、铁基、铝基、钙基锁磷剂的应用。

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。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 5750.6 生活饮用水指标检测方法
- GB 5749 生活饮用水卫生标准
- GB/T 11911 水质铁锰的测定火焰原子吸收分光光度法
- GB 3838 地表水环境质量标准
- GB 7477-87 水质钙和镁总量的测定 EDTA 滴定法
- GB 11899-89 水质硫酸盐的测定重量法
- GB 11893-89 水质总磷的测定钼酸铵分光光度法
- GB 6920-86 水质 pH 值的测定玻璃电极法
- HJ 506 水质溶解氧的测定电化学探头法
- HJ 632 土壤总磷的测定
- HJ 700 水质 65 种元素的测定电感耦合等离子体质谱法
- HJ 1215 水质硅酸盐的测定钼酸铵分光光度法
- HJ 831 淡水水生生物水质基准制定技术指南
- HJ 501 水质总有机碳的测定燃烧氧化—非分散红外吸收法
- SL 83 碱度(总碱度、重碳酸盐和碳酸盐)的测定(酸滴定法)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

锁磷剂

通过化学沉淀、吸附或钝化作用固定水体及沉积物中磷的药剂。

3.2

内源磷释放

沉积物中磷向水体的二次释放现象。

3.3

原位覆盖

一种直接在水体底部污染底泥表面铺设覆盖层的技术，通过物理隔离、吸附或化学固定作用，阻止底泥中的污染物向水体释放，从而改善水质并降低生态风险。

3.4

底泥活性覆盖板

一种用于水体底泥污染治理的工程材料，通过物理隔离与化学/生物活性作用的结合，抑制底泥中污染物的释放，同时促进其降解或固定化。

3.5

活性滤坝

一种结合物理过滤与生物化学处理功能的水处理构筑物。

3.6

泥疏浚

通过机械、水力或人工方式清除水体底部沉积的污染底泥，以减少内源污染、改善水质或恢复水域功能的工程措施。

4 总体要求

4.1 治理原则

湖泊河流的内源磷污染导致总磷超标问题应遵循“源头截污、水体修复、内源治理、智能监管”的基本原则协同治理。

4.2 锁磷剂的选取

磷剂种类的选取应根据目标河湖的水质、pH、溶解氧、底泥特性、外源污染负荷等环境条件，以及锁磷剂的适用条件进行相应调整并经相容性实验验证。

4.3 环保要求

工程中应禁止使用对水生生物有毒性的材料，优先使用生态毒理认证的产品，锁磷剂的毒性应该满足 HJ 831 的相关规定。

5 锁磷剂类型及应用技术

5.1 镧基锁磷剂

5.1.1 作用机理

镧 (La^{3+}) 与磷酸根 (PO_4^{3-}) 之间的强亲和力, 涉及化学沉淀、表面络合、静电吸引及物理吸附等多种作用除磷。

5.1.2 适用条件

pH 范围为 3~10; DO 范围无明显限制。

5.1.3 技术参数

投加量为 0.5-2 kg/m²; 磷饱和吸附量大于 20mg/g ; 粉末:100-150 μm。

5.1.4 优点

吸附选择性高, 吸附产物稳定, 二次污染风险极低。

5.1.5 缺点

材料成本较高。

5.2 铁基锁磷剂

5.2.1 作用机理

铁 (Fe^{3+}) 与磷酸根 (PO_4^{3-}) 之间的强亲和力, 涉及化学沉淀、表面络合、静电吸引及物理吸附等多种作用除磷。

5.2.2 适用条件

pH 范围为 3~11; DO>2mg/L。

5.2.3 技术参数

投加量为 0.1-3.0 kg/m²; 磷饱和吸附量大于 10mg/g; 粉末: 100-500μm

5.2.4 优点

除磷效率高, 可应用于应急治理, 适用范围广, 技术成熟。

5.2.5 缺点

过量投加会造成环境污染, 厌氧条件下磷易释放。

5.3 铝基锁磷剂

5.3.1 作用机理

铝 (Al^{3+}) 与磷酸根 (PO_4^{3-}) 之间的强亲和力, 通过化学吸附、静电吸引、表面络合、物理吸附、离子交换等多种作用除磷。

5.3.2 适用场景

pH 范围为 3~9; DO 范围无明显限制。

5.3.3 技术参数

投加量为 $1.0 \sim 5.0 \text{ kg/m}^2$ ；磷饱和吸附量大于 8 mg/g ；颗粒：3-5mm；粉末：300-400 μm 。

5.3.4 优点

效果稳定，不受氧化还原电位影响，有效时间长，处理成本低，原材料来源广。

5.3.5 缺点

过量投加会造成环境污染，碱性条件下除磷效率下降。

5.4 钙基锁磷剂

5.4.1 作用机理

钙 (Ca^{2+}) 与磷酸根 (PO_4^{3-}) 形成沉淀羟基磷酸钙，锁磷剂材料表面的羟基与磷酸根发生配体交换，以及静电吸附磷酸根离子。

5.4.2 适用场景

$\text{pH} > 5$ ；DO 范围无明显限制。

5.4.3 技术参数

投加量为 $0.25 \sim 1 \text{ kg/m}^2$ ；磷饱和吸附量大于 5 mg/g ；粉末：50-200 μm 。

5.4.4 优点

反应快速，原料来源广泛，价格低廉，无二次污染。

5.4.5 缺点

对有机磷去除效果有限，过量投加锁磷剂会导致水体 pH 值升高，影响水体生态环境。

6 实施与监测要求

6.1 实施方式

6.1.1 粉末和颗粒锁磷剂可以采用直接投撒方式，投加可采用无人机、船舶或人工均匀撒布，控制单位面积投加量。

6.1.2 针对大面积深水水域，如水库、湖泊等可使用船舶投加。配备 GPS 导航系统，通过网格化路径规划实现全区域无死角覆盖，利用螺旋桨搅动水流促进锁磷剂快速扩散以增强混合效果。

6.1.3 小型水体及设备条件受限场景，如池塘、景观水系等可采用人工投加。采用计量勺或手摇式撒播器进行网格化分区作业，按预设剂量逐格精准撒布以确保均匀覆盖。通过智能手持设备实时记录作业轨迹，规避重复或漏撒风险。

6.1.4 在地形复杂或人力难以直接到达的区域，可采用无人机投加。结合无人机定位系统，动态调控锁磷剂撒布速率，通过预设程序规划飞行路径，实现锁磷剂均匀覆盖。

6.1.5 颗粒锁磷剂可以制备成底泥活性覆盖板，将颗粒状锁磷剂与载体材料结合并结构化，形成可固定于河床表面的功能化覆盖层。抑制底泥中磷的释放，阻断污染物扩散。

6.1.6 颗粒锁磷剂可以制备成活性滤坝的滤料，将颗粒状锁磷剂集成物理拦截、化学吸附与生物降解功能的复合型水处理结构，将锁磷剂与多孔滤料结合，形成高效除磷系统。

6.2 效果监测

6.2.1 常规监测指标包括：水体中的总磷（TP）、正磷酸盐（ $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ）、有机磷（DTP）、颗粒态磷（PP）、pH、DO；底泥中的总磷（TP）。

6.2.2 锁磷剂投加 24 小时内，每 2 小时监测一次，评估除磷效果及 pH 变化情况。

6.2.3 锁磷剂投加 1~4 周内，每周监测 1~2 次，跟踪磷浓度变化情况及再释放情况。

6.2.4 长期监测：每月 1 次，持续 6 个月至 1 年，评估长效控磷效果。

7 注意事项

7.1 环境风险防控

7.1.1 锁磷剂溶出监测指标包括：镧（ La^{3+} ）、铝（ Al^{3+} ）、铁（ Fe^{3+} ）、钙（ Ca^{2+} ）等离子浓度。

7.1.2 镧基锁磷剂应监测镧残留浓度，监测方法依照 HJ 700 规范的相关规定，应符合 HJ 831 的规定以避免镧离子对水生生物的慢性毒性影响。

7.1.3 铝基锁磷剂应监测铝残留浓度，监测方法依照 GB/T 5750.6 规范的相关规定，应符合 GB 5749 中 4.2 的规定，小于 0.2mg/L 以防止对水生生物的潜在危害。

7.1.4 铁基锁磷剂应监测铁残留浓度，监测方法依照 GB/T 11911 规范的相关规定，小于 0.3mg/L，避免对河湖环境中微生物产生毒性，需监测投加后 pH 的变化，以免降低河湖水体 pH，铁离子浓度与 pH 应符合 GB 3838 中 7.3 的规定，小于 0.3mg/L，pH 在 6-9 范围内；需避免在缺氧河道或富含有机质底泥中过量投加，以免影响处理效果。

7.1.5 钙基锁磷剂应监测钙残留浓度，监测方法依照 GB 7477 规范的相关规定；监测钙、镁离子浓度，防止水体硬度超标，水体硬度应符合 GB 3838 规范的相关规定，小于 50mg/L，投加后若水体硬度过高，影响水生植物生长，可与生态修复措施联用；需监测投加后 pH 的变化，以免增高河湖水体 pH，pH 应符合 GB 3838 中 7.3 的规定，pH 在 6-9 范围内。

7.2 操作规范

7.2.1 实际投加量需根据原水水质、原水干扰离子、锁磷剂除磷性能等进行实际核算，动态调整投加量，防止过量投加导致水体 pH 剧烈波动、金属离子超标、投加过少导致处理效果不佳等问题。

7.2.2 测量河湖原水水体中的总磷 TP、正磷酸盐 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 、有机磷 DTP、颗粒态磷 PP 监测方法依照 GB 11893-89 规范的相关规定、pH 监测方法依照 GB 6920-86 规范的相关规定、DO 监测方法依照 HJ 506 规范的相关规定。

7.2.3 底泥中的 TP 监测方法依照 HJ632 规范的相关规定。

7.2.4 测量河湖水体中碳酸盐浓度，监测方法依照 SL 83 规范的相关规定，碳酸氢盐（ HCO_3^- ）和碳酸盐（ CO_3^{2-} ）与磷酸盐竞争锁磷剂吸附位点，河湖水体中浓度通常为 50 - 500 mg/L。

7.2.5 测量河湖水体中硫酸盐浓度，监测方法依照 GB 11899-89 规范的相关规定，硫酸根（ SO_4^{2-} ）可通过静电竞争削弱磷的吸附，河湖水体中浓度通常为 10-100 mg/L，受工业排放或海水入侵影响可能更高。

7.2.6 测量河湖水体中硅酸盐浓度，监测方法依照 HJ 1215 规范的相关规定， SiO_3^{2-} 与 PO_4^{3-} 结构相似，竞争锁磷剂吸附位点，河湖水体中浓度通常为 1-30 mg/L。

7.2.7 测量河湖水体中腐殖酸等大分子有机物，监测方法依照 HJ 501 规范的相关规定，有机物减少金属对磷的沉淀作用，有机阴离子会竞争锁磷剂吸附位点。

7.2.8 测量河湖水体中钙和镁离子，监测方法依照 GB 7477-87 规范的相关规定，钙、镁离子导致除磷材料表面钝化，不同河湖水体硬度不同，钙、镁离子含量不同。

7.2.9 测量河湖水体中重金属含量，监测方法依照 GB HJ 700 规范的相关规定，重金属与 PO_4^{3-} 竞争吸附位点。

7.2.10 根据测量的水体数据，进行实验室模拟配水实验，根据前期实验确定的锁磷剂除磷性能参数，结合测量水体数据，选出最优锁磷剂与投加量。

7.3 长期维护要求

7.3.1 锁磷剂覆盖底泥后，每半年检测底泥中有效态磷含量及金属蓄积量，评估长期稳定性；若底泥扰动频繁（如航道区），需补充投加锁磷剂或改用物理除磷（如洗脱）协同控磷。

7.3.2 锁磷剂可长期控制内源磷释放，可同步与别的工艺联合，如需快速清理底泥中内源磷，可与底泥疏浚技术联用，如需同步控制底泥中氮含量，可与沉水植物联用。

7.4 合规性要求

大规模投加前需编制环境影响评价报告，重点分析金属离子迁移规律及生态风险，跨行政区水体治理需报省级生态环境部门审批。

7.5 应急措施

7.5.1 若投加后水体浑浊度持续升高（如钙基锁磷剂结垢），立即暂停投加并启用应急曝气设备。

7.5.2 发现鱼类异常死亡时，迅速取样检测金属离子浓度，必要时启动水体置换。
