

团 体 标 准

T/CSES XXXX-XXXX

有机污染场地地下水原位生物修复技术规范
生物刺激缓释药剂施用

Technical specifications for in-situ biological remediation of organic contaminated groundwater—Application of slow-releasing biostimulant reagents

(征求意见稿)

(Draft for soliciting opinions)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 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
4 总体要求.....	2
5 场地生境条件.....	3
6 药剂施用设计.....	3
7 缓释药剂施用技术要求.....	4
8 施用过程质量保障和二次污染防范.....	6
附 录 A （资料性） 生物刺激缓释药剂评价.....	7

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。

本文件由吉林大学提出。

本文件由中国环境科学学会归口。

文件起草单位：吉林大学、北京建筑大学、南开大学、上海康恒环境股份有限公司、北京师范大学、华北水利水电大学、中国科学院生态环境研究中心、大地益源环境修复有限公司、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司。

本文件主要起草人：张玉玲、张晓然、高大文、吕聪、苏小四、胡佳晨、王金生、黄岁樑、于福荣、焦文涛、单晖峰、李隋、王吉利、李栋。

有机污染场地地下水原位生物修复技术规范 生物刺激缓释药剂施用

1 范围

本文件规定了有机污染场地地下水原位生物修复中生物刺激缓释药剂施用的总体要求、场地生境条件、药剂选择、施用系统设计、施用过程要求、施用后监测与管理。

本文件适用于石油烃、多环芳烃、挥发性氯代烃等有机污染场地地下水原位生物修复中生物刺激缓释药剂的施用。

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 5749	生活饮用水卫生标准
GB/T 14848	地下水质量标准
HJ 25.2	建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
HJ 25.5	污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则
HJ 25.6	污染地块地下水修复和风险管控技术导则
HJ164	地下水环境监测技术规范
HJ 478	水质 多环芳烃的测定 液液萃取和固相萃取高效液相色谱法
HJ 620	水质 挥发性卤代烃的测定 顶空气相色谱法
HJ 682	建设用地土壤污染风险管控和修复术语
HJ 894	水质 可萃取性石油烃（C ₁₀ -C ₄₀ ）的测定 气相色谱法
HJ 970	水质 石油类的测定紫外分光光度法
HJ 1019	地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则
T/GIA 003	污染地下水原位注入修复技术指南

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地下水生境条件 groundwater habitat conditions

地下水中微生物生长代谢所处的环境条件，包括物理、化学和生物等环境要素。

3.2

目标污染物 target contaminant

在地块环境中其数量或浓度已达到对生态系统和人体健康具有实际或潜在不利影响的，需要进行修复的关注污染物。

[来源：HJ 682-2019，2.2.2]

3.3

原位生物修复 in-situ bioremediation

不移动污染的土壤或地下水，直接在地块发生污染的位置进行生物修复，使得土壤或地下水中的目标污染物含量削减或去除。

[来源：HJ 682-2019，2.2.2、2.5.3和2.5.17，有修改]

3.4

修复目标 target for remediation

由地下水污染状况调查及风险评估确定的关注污染物，对人体健康与生态受体不产生直接或潜在危害，或不具有环境风险的污染修复终点。

[来源：HJ 682-2019，2.2.2，有修改]

3.5

营养基质 nutrient matrix

营养基质主要用于提供或强化微生物生理机能、生长代谢、降解污染物所需的基础营养物质、电子受体/电子供体、生长因子、辅助代谢物质等，如无机盐、碳氮磷源、微量元素、维生素等物质，能够参与微生物降解有机污染物的基础代谢和系列反应。

3.6

生物刺激剂 biostimulant

能够强化或有益于微生物的生理机能、营养吸收、非生物胁迫抵抗力或去除污染物的药剂，药剂成分为单一或复合的营养基质成分，来源具有生态安全性。

3.7

缓释药剂 sustained-release agent

能够缓慢释放有效药物成分的制剂，与不具有缓释功能的药剂相比，减少了给药频率和显著增加了药剂作用时间。

3.8

生物刺激缓释药剂 sustained-release biostimulant

具有缓释功能的生物刺激剂。

4 总体要求

4.1 药剂的选择与施用应遵循环境友好、安全长效、成本低、因地制宜与可行性原则。

4.2 施用（注入）方式与方法应用根据原位生物修复工程模式和工艺要求进行选择。

4.3 生物刺激缓释药剂选择和效果验证，应参考“有机污染场地地下水原位生物修复技术规范 生物刺激缓释药剂调配”规定。

4.4 在开展修复工程前，应制定药剂施用方案。药剂施用方案应根据场地生境条件、药剂施用设计与技术要求、施用过程质量保障和二次污染防治进行制定。

4.5 药剂施用过程应采取必要的二次污染防治措施，制定应急预案，防止二次污染。

5 场地生境条件

5.1 水文地质特征参数

水文地质特征参数包括但不限于：

- a) 包气带岩性、结构、厚度、分布及渗透性等；
- b) 含水层岩性、分布、结构、厚度、埋藏条件、渗透性、富水程度等；
- c) 隔水层（弱透水层）的岩性、厚度、渗透性等；
- d) 地下水流场（流向、流速、水位）及地下水补给、径排、排泄条件。

5.2 地下水理化指标

地下水理化指标包括：

- a) 指示环境指标：水温、pH、Eh、ORP、DO 等；
- b) 指示水质指标：TDS、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、CO₃²⁻、HCO₃⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、氮磷等。

5.3 地下水生物指标

地下水生物指标包括：

- a) 土著微生物菌群生物量、组成、酶活性等。
- b) 根据对生物降解菌检测需求，宜检测功能基因、参与共代谢微生物及相关微生物等。

5.4 污染物指标

地下水污染指标包括：

a) 污染物类型和目标污染物根据污染地块调查结果和修复工程前期地下水采样调查进行分析，判断目标污染物是否超标时，可以参照 GB/T 14848GB，当目标污染物不在 GB/T 14848GB 规定中时，可以参考 GB5749-2022、行业规范或地方指南等。

b) 污染范围根据污染地块调查结果和修复工程前期地下水采样调查进行判断。

5.5 生物降解特征参数

主要包括参与降解反应的电子受体/供体、环境要素和降解产物等。

5.6 地块周围环境敏感区域

包括居民区/人员集中区、地表水、周边水源地、周边浅层地下水等敏感区域的分布及特征。

6 药剂施用设计

6.1 施用流程和系统构成

6.1.1 药剂施用流程包括生物刺激缓释药剂选择与制备、药剂注入工艺和注入系统设计、运行监测与效果评估、二次污染防治措施，药剂应用流程见图 1。

6.1.2 物刺激缓释药剂的调配宜符合“有机污染场地地下水原位生物修复技术规范 生物刺激缓释药剂调配”规定，药剂配方和用量宜通过小试和中试试验进行评估和确定。

6.1.3 药剂注入工艺和注入系统应根据场地工况、地下水生境条件、修复规模和周期确定，可选择原位注入井注入、原位直推式注入、高压旋喷式注入等。

6.1.4 注入井群和监测井群的建设应满足能够控制污染羽，同时应在待修复区域的上游和下游边界分别布置监测井，用于对照和管控污染物迁移风险。

6.1.5 运行监测与效果评估方案包括监测频率与监测指标、效果分析与施用方案优化、运行过程管理和二次污染防治等，地下水监测应符合 HJ164、HJ 25.2 的规定，修复与风险管控应符合 HJ 25.6 的规定，

修复效果评估应符合 HJ25.5 的规定。

6.1.6 二次污染防治措施应符合 HJ 25.6 的规定。

6.2 辅助药剂

6.2.1 设计根据修复特定需求，在药剂配方调配与制备及药剂施用前或施用过程中，根据辅助药剂作用，选择使用辅助药剂，提升目标污染物的降解效率。

6.2.2 辅助药剂包含功能菌剂情况时，菌剂环境安全评价应符合 HJ/T415 的规定。

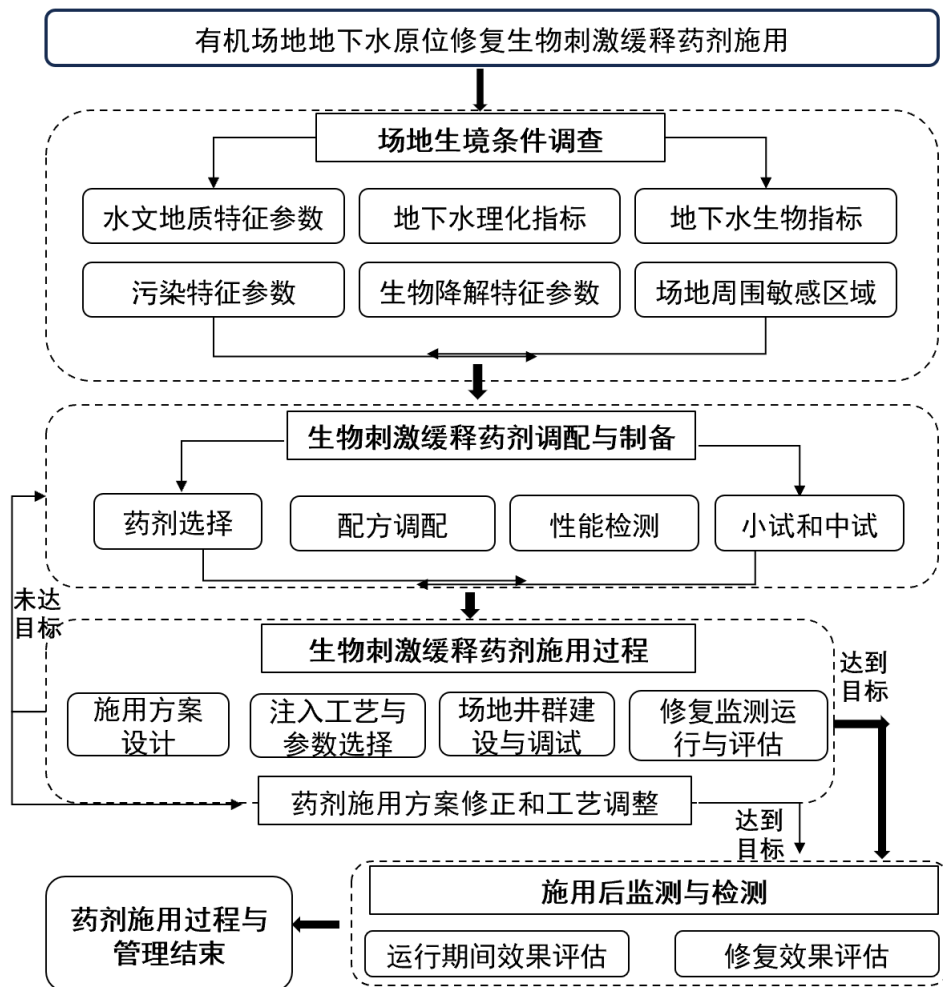


图1 生物刺激缓释药剂原位注入施用流程

7 药剂施用技术要求

7.1 地下水环境条件

7.1.1 当地下水中pH值<5.0 或>10.0时，注意地下水中土著微生物活性和含量，根据情况在加入缓释药剂之前或配方调剂阶段加入酸碱调节成分或在缓释药剂施用注入阶段同步加入到地下中，使生物刺激缓释药剂作用效率不受影响。

7.1.2 当地下水中TDS>10 g/L以上时，注意地下水中土著微生物活性和菌量，根据检测情况决定是否在药剂配方调配阶段或注入阶段协同加入耐盐降解功能菌剂，确保缓释药剂生物刺激作用效率。

7.1.3 当地下水中 $DO < 2.0 \text{ mg/L}$ 时,注意施用缓释药剂的配方,是否适用于兼性或厌氧微生物发挥作用,如果不适用,可以在配方调配或施用前小试试验配方优化阶段增加电子供体/释氧物质进行复配或协同注入阶段加入释氧剂增加生物缓释刺激药剂作用区域地下水中 DO ,提升目标有机污染物作用效率。

7.2 缓释药剂施用投加量和浓度

7.2.1 应根据目标污染物在地下水中水-岩系统中的总量进行计算,并根据修复工程实施时,是否存在修复范围外目标污染物传输情况进行回算。

7.2.2 缓释药剂加入量在无其他共存污染物干扰情况下,宜采用反应用量的110%比例加入,避免地下水中目标污染物含量反弹,存在共存污染物时,计算缓释药剂用量时需考虑共存污染物降解消耗问题。

7.3 药剂剂型和注入方式

7.3.1 参照“有机污染场地地下水原位生物修复技术规范 生物刺激缓释药剂调配”进行药剂剂型选择。

7.3.2 当待修复污染地下水的渗透系数小于细砂时,生物刺激缓释药剂迁移范围受限,宜采用纳米级溶胶态液体生物刺激缓释药剂和多井同时注入模式。

7.3.3 在现场小试或中试试验环节,需要确定缓释药剂剂型、用量和多井注入间距。

7.3.4 当待修复污染地下水渗透系数较好时,根据修复范围和修复周期,宜灵活选择药剂剂型和注入方式,以操作简单、节省成本、过程安全无二次污染为前提。

7.4 注入系统和注入井群建设

7.4.1 参照T/GIA 003,进行原位注入系统、注入工艺类型和参数选择时,宜选择撬装设备和工艺,尽量避免一次性投入成本过高和过度消耗资源,尽量避免或减少对待修复污染地下水层的地质结构破坏。

7.4.2 注入井群间距布设应满足在修复周期内,通过施用生物刺激缓释药剂能够充分去除目标污染物为宜。

7.4.3 单个注入井的深度,可以根据目标污染物在地下水系统中的赋存状态进行选择不同深度,以生物刺激缓释药剂在施用后能够到达待修复污染地下水全域为宜。

7.4.4 根据实际情况,调整井群建设涉及的单井结构、密度和深度。

7.5 运行监测频率和监测指标

7.5.1 药剂施用后运行监测初期一个月内,宜按照1次/周进行监测,监测指标为目标污染物、生物量、缓释指示指标等。

7.5.2 根据生物刺激效率,判断和验证缓释药剂施用工艺流程和关键参数,出现没有达到预期目标情况时,及时调整实施方案和采取应对措施。

7.5.3 在运行效果稳定初期,按照1次/月进行监测,修复效果达成后,后期监测按照1次/季度频率进行。运行监测全周期过程,注意二次污染防范和制度管控。

7.6 效果评估

7.6.1 通过对修复范围内及边界控制地下水水质监测,判断场地内地下水中污染物是否达到修复目标,评估系统运行的总体修复效果。

7.6.2 效果评估过程,可参照HJ 25.2、HJ 25.6、T/GIA003和行业规范及地方指导文件等。

7.7 药剂施用过程结束

7.7.1 当确定目标污染物的浓度已经达到既定的修复目标或无需缓释药剂原位生物修复工程实施满足风险管控目标时,药剂施用过程结束。

7.7.2 药剂施用结束后,可以配合修复工程整体进程,关注后续场地监测事宜。

8 施用过程质量保障和二次污染防范

8.1 施用质量保障

8.1.1 建立管理体系，责任到人，分工明确，确保按期保质保量完成药剂施用不同环节任务。

8.1.2 最大限度实现药剂施用全过程绿色低碳、降低成本和达到预期目标。

8.2 二次污染防范

8.2.1 根据二次污染防治措施和预案，对操作人员进行安全培训，避免对大气、水土环境产生二次污染。

8.2.2 在生物刺激缓释药剂调配效果验证的小试和中试试验环节，应关注药剂施用后可能进入待修复层以外的范围，在药剂注入和运行监测设计前，确定相关参数和应对措施。

附 录 A
(资料性)
生物刺激缓释药剂评价

资料性附录A，表A生物刺激缓释药剂对比评分表

表 A 生物刺激缓释药剂对比评分表

序号	评价指标	缓释药剂 1	缓释药剂 2	缓释药剂 3	•••••
1	降解率				
2	药剂制备成本				
3	工程运维成本				
4	二次污染				
5	长期降解稳定性				
6	缓释时间				
7	缓释稳定性				
8	功能微生物菌群增加量				
9	DNA总量增加量				
10	药剂粒径				
11	固体药剂形貌				
12	液体药剂黏度				
13	在水相中的分散性				
14	zeta电位				
15	药剂制备可操作性				
16	工程操作管理难易度				