



《铋矿区污染土壤梯度阻隔拦截技术指南》

（征求意见稿）

编制说明

《铋矿区污染土壤梯度阻隔拦截技术指南》编制组

二〇二二年十一月

目 录

1 任务来源	1
2 标准制定必要性	1
3 主要工作过程	2
4 国内外相关标准概况	3
4.1 国内相关标准情况	3
4.2 国外相关标准情况	4
5 编制原则及与现行标准的关系	4
5.1 编制原则	4
5.2 与现行标准的关系	4
6 主要技术内容及说明	5
6.1 第 4 章总体要求	5
6.2 第 5 章工艺原理与流程	5
6.3 第 6 章工艺设计与施工要点	5
6.4 第 7 章拦截效果监测与评估	6
6.5 第 8 章环境管理要求	6
7 预期效果	7
8 重大意见分歧的处理依据及结果	7
9 作为推荐性标准或强制性标准的建议及理由	7
10 实施标准的措施（政策措施、宣贯培训、试点示范、配套资金）	7
11 其他应说明的事项	7

1 任务来源

铊是一种有毒金属元素，已被美国和欧盟列为优先控制污染物。我国作为世界上铊资源大国，储量和产量均居世界首位。由于大规模的铊矿开采、冶炼，铊矿区及周边土壤铊砷污染及生态破坏问题非常严重。随着国家对生态文明建设的重视程度不断提高，迫切需要开展铊矿区及周边环境的治理恢复工作。本任务来源于 2020 年中国环境科学研究院牵头的科技部重点研发项目“铊矿区铊砷污染源阻断及生态治理技术”（项目编号：2020YFC1807700），主编单位有研资源环境技术研究院（北京）有限公司作为课题承担单位负责《铊矿区污染土壤矿物基阻隔材料及梯度阻隔拦截技术研究》（课题编号：2020YFC1807702）研究工作。该任务针对铊矿区铊砷污染严重、绿色高效经济可持续的阻隔技术缺乏等问题，开发矿物基阻隔材料，建立适用于不同浓度、地质条件的铊采选矿区及周边土壤铊砷污染阻隔技术体系，实现对铊砷高效、经济、安全和长效的原位阻隔，为国家铊矿区铊砷污染治理等提供科技支撑服务。为了进一步将项目研究成果和工程经验进行转化、推广，结合项目任务和当前铊矿区污染土壤修复治理的需求，提出编制本技术指南。

根据中华环保联合会《关于征集“固危废及土壤污染治理团体标准项目”的通知》的要求，由有研资源环境技术研究院（北京）有限公司作为项目承担单位，有研资源环境技术研究院（北京）有限公司、中国环境科学研究院、中国科学院地球化学研究所、贵州省地质矿产勘查开发局一〇五地质大队、广西博世科环保科技股份有限公司、中节能大地（山东）环境科技有限公司等作为项目协作单位，联合承担《铊矿区污染土壤梯度阻隔拦截技术指南》标准项目的编制工作。

2 标准制定必要性

矿产资源是人类生产和生活的基本物质保障，2020 年，我国为实现全面建成小康社会的目标，工业化建设也迎来了高峰期，矿产资源消耗接近峰值。2014 年，发布的《全国土壤污染状况调查公报》表明部分区域土壤重金属污染问题比较严重，耕地和工矿业废弃用地土壤环境问题比较突出。2016 年，国务院印发《土壤污染防治行动计划》，计划指出要严防矿产资源开发污染土壤，从 2017 年开始，矿产资源开发活动集中的区域执行重点污染物特别排放限值，对遗留矿区尾矿库开展全面整治，开展矿区土壤重金属污染治理，逐步改善区域土壤环境质量。2018 年，《中华人民共和国土壤污染防治法》中要求各级人民政府生态环境、自然资源主管部门应当依法加强对矿产资源开发区域土壤污染防治的监督管理，按照相关标准和总量控制的要求，严格控制可能造成土壤污染的重点污染物排放。矿区土壤重金属污染问题越来越受到关注和重视。

我国铊矿资源分布广泛，产量和储量均居世界第一。2016 年国务院发布的《全国矿产资源规划（2015-2020 年）》更是首次将铊列为战略性资源。截至 2017 年底，我国已探明的铊矿区共 214 处，遍布 20 个省（区）。我国铊的年产量大约 20 万 t，其中 2019 年铊的产量占全球总产量的 62.5%。作为世界上最大的铊生产国，我国面对的铊污染风险要远比其他国家严峻。据统计每年约有 3.8×10^4 t 的铊因采选冶炼等各种工业活动被释放到环境中。铊是一种具有潜在毒性和致癌性的元素，被美国列入优先控制污染物，同时也被欧盟列入危险废物。此外，铊矿区除高浓度铊污染外，由于矿物氧化、砷碱渣淋溶等原因，铊矿区及周边环境通常还伴随高砷及其他重金属污染。铊矿产资源的开发利用在促进国民经济发展

的同时，也给矿区及周边生态环境造成了严重的生态环境问题，开展镉矿区污染场地的相关治理工作已刻不容缓。然而镉矿区污染场地治理中存在治理技术多样却未有明确的指导标准，污染物治理难度大而通过单一手段难以实现有效的阻隔拦截的问题，是制约镉矿区污染治理的瓶颈问题。本标准的制定对于指导镉矿区污染场地治理技术的选择，实现污染物的有效阻隔拦截具有十分重要的意义。

国家政府及相关部门也出台了一系列政策文件对于污染防治的要求及鼓励选择的材料和技术进行了指导。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中提到要深入开展污染防治行动所述的推进受污染更低和建设用地管控修复，实施水土环境风险协同管控及严密防控环境风险所述的提升危险废弃物监管和风险防范能力的要求；《重点新材料首批次应用示范指导目录（2021 年版）》中提到的矿物功能材料中涉及的重污染土壤污染治理新材料；《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》中提到的提高大宗固废资源利用效率所述的探索尾矿在生态环境治理领域的利用，扩大钢渣微粉作混凝土掺合料在建设工程等领域的利用，扩大工业副产石膏高值化利用规模，不断拓宽秸秆原料化利用途径，鼓励利用秸秆生产环保板材、炭基产品、聚乳酸、纸浆等；《国家工业资源综合利用先进适用工艺技术设备目录（2021 年版）》中提到的工业固废综合利用固废基胶凝材料制备新型低碳绿色建材技术的相关工艺技术。本标准符合国标委《2022 年国家标准立项指南》中提到的污染物排放、环境质量、终端用能产品能效、重点行业能耗限额、水资源节约利用等标准的要求。本标准符合科技部国家重点研发计划“场地土壤污染成因与治理技术”重点专项《镉矿区污染土壤矿物基阻隔材料及梯度阻隔拦截技术研究》（编号：2020YFC1807702）项目的任务要求。

因此，总结国内外成功的矿区污染治理技术实践及本单位成熟的相关经验，结合国家推荐鼓励使用的相关材料与技术，制定镉矿区污染场地阻隔拦截技术标准，对于推进矿区污染场地治理技术的标准化和规范化，大幅度提升矿区污染治理的能力和水平，降低污染物的环境迁移风险，保障《土壤污染防治行动计划》的实施，贯彻落实《土壤污染防治法》，推动国民经济可持续发展具有重大意义。

3 主要工作过程

本标准由有研资源环境技术研究院（北京）有限公司起草，中国环境科学研究院、中国科学院地球化学研究所、贵州省地质矿产勘查开发局一〇五地质大队、广西博世科环保科技股份有限公司、中节能大地（山东）环境科技有限公司等单位协助起草。技术归口单位为中华环保联合会。

2021 年 3 月，中国环境科学研究院组织召开科技部重点研发项目《镉矿区镉砷污染源阻断及生态治理技术》启动会。有研资源环境技术研究院（北京）有限公司承担课题《镉矿区污染土壤矿物基阻隔材料及梯度阻隔拦截技术研究》（编号：2020YFC1807702），并提出《镉矿区污染土壤梯度阻隔拦截技术指南》编制工作；

2021 年 12 月，标准编制组在贵州省贵阳市召开了《镉矿区污染土壤梯度阻隔拦截技术指南》团体标准启动会，有研资源环境技术研究院（北京）有限公司、中国环境科学研究院、中国科学院地球化学研究所、贵州省地质矿产勘查开发局一〇五地质大队、广西博世科环保科技股份有限公司、中节能大地（山东）环境

科技有限公司等主、参编单位确定了标准主要内容和编写框架；

2022年3月，标准编制组在北京召开了《铋矿区污染土壤梯度阻隔拦截技术指南》团体标准座谈会，有研资源环境技术研究院（北京）有限公司、中国环境科学研究院等主、参编单位对标准草案初稿提出修改意见；

2022年6月，标准编制组召开了《铋矿区污染土壤梯度阻隔拦截技术指南》团体标准线上座谈会，有研资源环境技术研究院（北京）有限公司、中国环境科学研究院等主、参编单位修改标准初稿并形成草案稿；

2022年7月，由中华环保联合会组织专家进行立项评审，专家组一致通过《铋矿区污染土壤梯度阻隔拦截技术指南》标准立项；

2022年11月，由中华环保联合会组织专家进行技术审查，专家组一致通过《铋矿区污染土壤梯度阻隔拦截技术指南》标准发布征求意见稿。

4 国内外相关标准概况

4.1 国内相关标准情况

铋矿区开采产生的废水、废石和尾矿渣的堆放使周边土壤和矿区累积大量的铋和砷。2013年，环境保护部办公厅为了促进涉砷行业生产工艺和污染治理技术进步，发布了《砷污染防治技术政策》，提出了防治砷污染可采取的技术路线和技术方法，包括清洁生产、末端治理、综合利用、次生污染防治以及新技术研发等方面的内容。2016年，湖南省质量技术监督局发布《铋冶炼砷碱渣无害化处理技术规范》，该标准规定了铋冶炼砷碱渣无害化处理过程中收集、包装和运输、贮存、无害化处理工艺、产品副产品技术要求、末端污染控制、监测评估的一般要求。2020年，生态环境部发布了《砷渣稳定化处置工程技术规范》，该标准规定了砷渣稳定化处置工程的总体要求、工艺设计、主要工艺设备和材料、检测与工程控制、主要辅助工程、劳动安全与职业卫生、施工与验收、运行与维护等技术要求。各类修复技术常与阻控技术结合以达到修复并阻断土壤污染物迁移扩散的目的。2017年，环境保护部办公厅发布了《污染地块风险管控技术指南——阻隔技术》，该指南分别对阻隔技术的主要技术环节提出了一般性的原则和要求，即设计、施工、监测与维护。同时，针对阻隔技术常用的三种情形：（1）阻断表层土壤的直接接触；（2）阻止受污染地下水迁移扩散；（3）阻断周围或室内空气暴露，分别对每种情形下阻隔技术的设计、施工、监测与维护等主要技术环节提出了进一步的细化要求。

铋矿区污染物理化学修复技术和风险管控等相关规范和标准的施行，对于防止未修复治理的铋、砷污染地块污染扩散，推进我国铋矿区污染地块污染管控工作，完善污染地块土壤环境管理技术支撑体系，规范和指导铬污染地块风险管控与修复治理技术做出了巨大贡献。

然而，由于铋矿区污染场地的复杂性，目前仍缺少专门针对土壤铋砷污染梯度阻隔拦截相关的技术标准。为了进一步完善和补充铋矿区污染场地土壤阻隔拦截的技术需求，本标准首次提出并规定铋矿区土壤阻隔拦截技术要求，完善铋矿区污染土壤治理的标准规范体系。

4.2 国外相关标准情况

目前,国外发达国家非常重视具有致癌毒性的镉、砷等污染物的标准化工作,在这方面建立了十分严格的标准体系。国外镉、砷污染相关的标准主要集中在风险管控基准值和限值方面。早在 1979 年,镉就进入了美国环保部的优先控制污染物名单,同时也被欧盟列入优先控制污染物,在巴塞尔公约中关于危险废物的越境迁移限定中将镉列为危险废物之列。美国国家环境保护局于 1999 年制订了饮用水中镉最大污染质量浓度目标值和最大污染质量浓度限值,均为 0.006 mg/L。2019 年,美国毒物与疾病登记署公布了 5 种镉的最小风险水平,包括三种急性、中期、长期吸入最小风险水平以及两种急性、中期皮肤接触最小风险水平。世界卫生组织 1993 年修订饮用水砷标准,将砷的标准值从 50 $\mu\text{g/L}$ 降低到 10 $\mu\text{g/L}$ 后,欧盟、美国、德国等西方国家也相继实行该标准。2017 年美国加利福尼亚州环境健康危害评估办公室通过《加州法规》第 27 篇第 5 条确定大米中砷的默认自然背景水平,规定大米中无机砷的天然存在浓度为白米 80 ppb,糙米 170 ppb。2014 年,美国材料与试验协会发布了《无机废物固化/稳定用煤燃烧产品的使用标准值指南》,该指南涵盖了用于废物和废水中微量元素化学稳定的煤燃烧产品 (CCPs) 的选择和应用方法。这些元素包括但不限于:砷、钡、硼、镉、铬、钴、铅、钼、镍、硒、钒和锌。化学稳定化可能伴随着被处理废物的固化。固化不是许多微量元素稳定的必要条件,但确实在废物处理和降低稳定废物的渗透性方面提供了优势。

此外,国外对土壤污染物的修复行为进行了一系列的规范,包括美国的《土壤筛选导则》《场地修复技术筛选矩阵》、英国的《土壤框架指令》《棕地再生综合管理》、荷兰的《土壤修复临时法》《土壤修复通告》、德国的《联邦土壤保护法》《闭合循环管理法》。但是,目前仍缺乏专门针对镉矿区污染修复的相关技术标准。

5 编制原则及与现行标准的关系

5.1 编制原则

《镉矿区污染土壤梯度阻隔拦截技术指南》的制订基本原则:

本标准按照 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》的要求进行编写;

符合相关法律、法规和有关规定,在编制过程中充分考虑技术内容的科学性、适用性和可操作性。

5.2 与现行标准的关系

本标准未采用国际标准。本标准阻隔范围的确定主要依据了 GB 36600《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》。微生物安全原则的制定主要依据了 HJ/T 415《环保用微生物菌剂环境安全评价导则》。固废材料的选择与使用原则依据了 GB/T 32326《工业固体废物综合利用技术评价导则》。拦截效果监测与评估章节的框架内容构建主要引用了 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》。

6 主要技术内容及说明

6.1 第4章总体要求

本部分从锑矿区污染防治原则、环境风险控制、阻隔范围与技术指标确定、技术方案制定、土壤处置过程提出了总体要求。其中，锑矿区污染防治总体遵循科学性、经济性和长效性原则。宜结合污染地块情况开展风险管控，土壤中污染物水平不再增长时，可清运堆积矿渣，控制环境风险。应针对地块的特征和潜在污染物特性，适度开展污染土壤状况调查，评估污染物潜在暴露途径与风险水平。应结合污染物阻隔要求，确定阻隔范围和应达到的相关评估指标，筛选适宜的阻隔技术并制定技术实施方案。锑矿区污染土壤处置包括贮存、预处理、利用、清运、回填，此过程中应满足生态环境保护的相关要求。

6.2 第5章工艺原理与流程

本部分提出了锑矿区污染土壤梯度阻隔拦截材料包括但不限于：微生物、矿物基阻隔材料、固废基胶凝材料，并对每种材料的阻隔机理进行了阐述。提出了基于阻隔材料的锑矿区污染土壤阻隔拦截技术，包括纵向迁移阻隔和横向迁移阻隔，推荐了技术的适用场景和工艺流程。其中，土壤特性、地质条件等导致污染物以纵向迁移为主的区域，宜利用微生物和矿物基阻隔材料实现污染物纵向浓度梯度削减的阻隔；地表径流量大、地下水系丰富、地质条件复杂等易导致污染物横向迁移，宜在纵向浓度梯度阻隔的基础上，引入固废基胶凝材料，实现污染物横向浓度梯度削减的阻隔。

6.3 第6章工艺设计与施工要点

6.1 部分提出了阻隔层设计的一般规定，阻隔层根据阻隔范围、阻隔层可操作性、阻隔层强度等因素综合确定。

6.2 部分提出了锑砷复合污染梯度阻隔技术的原料选择、纵向和横向迁移阻隔层的工艺设计和实施要点。

(1) 条款 6.2.1 微生物阻隔材料的选择 a) 微生物宜选用具有阻隔锑、砷迁移功能的菌剂。根据土壤中锑的价态及污染深度分布，选用锑氧化功能菌或锑还原功能菌。砷固定功能微生物宜选用砷氧化功能菌。

说明：As(III)的毒性最强，是As(V)的25-60倍，且不易被固定。微生物可以通过生物体对砷的累积而将砷“固定”，进而降低土壤环境中砷的毒性。

(2) 条款 6.2.1 微生物阻隔材料的选择 c) 当选用锑还原功能菌时，宜结合矿物基阻隔材料固定砷。

说明：锑还原功能菌对锑的固定效果较好，对砷难以起到有效固定作用。矿物基阻隔材料如锰基、铁基等矿物材料对砷具有较好的固化能力，故当选用锑还原功能菌时，宜结合矿物基阻隔材料固定砷。

(3) 条款 6.2.3 固废基胶凝材料的原材料选择 b) 可选用原材料包括但不限于：锑尾矿、锑冶炼渣、粉煤灰、钢渣、水淬高炉渣、脱硫石膏等。

说明：应用的材料符合《关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见》中提到的提高大宗固废资源利用效率所述的探索尾矿在生态环境治理领域的

利用，扩大钢渣微粉作混凝土掺合料在建设工程等领域的利用，扩大工业副产石膏高值化利用规模，不断拓宽秸秆原料化利用途径，鼓励利用秸秆生产环保板材、炭基产品、聚乳酸、纸浆等。

(4) 条款 6.2.5 镉砷复合污染横向迁移梯度阻隔工艺设计 a) 宜根据土壤环境污染状况、铺设材料的类型、成本等因素综合设计横向迁移阻隔层的厚度，结合土壤工程地质与水文地质条件、污染特征、风险管控要求等因素综合调整横向迁移阻隔层的深度，横向迁移阻隔层的深度需大于污染深度。

说明：根据《工业污染场地竖向阻隔技术规范》(HG/T 20715-2020) 工业污染场地的污染物属于低密度非水相液体且污染深度不超过地下水潜水埋藏深度时，设计深度应达到历史最低地下水位 1 m 以下，考虑到本标准中横向迁移阻隔层固化镉砷的特性或者阻隔镉砷迁移的特性，阻隔层的深度除考虑综合因素外，规定横向迁移阻隔层的深度应大于污染深度。

6.3 部分提出了镉及其他重金属复合污染梯度阻隔材料的选择。与镉砷复合污染土壤不同，镉及其他重金属复合污染土壤镉固定化功能菌剂宜优先选用具有镉还原功能的菌剂，经实验验证镉还原功能菌对土壤镉具有优异的固化性能。镉污染梯度阻隔拦截的实施细则与镉砷复合污染梯度阻隔拦截相同，只是二者原材料的选择不同，镉污染土壤所用阻隔材料主要针对镉。

(1) 条款 6.3.2 与镉及其他重金属复合污染固化功能菌协同的矿物基阻隔材料包括但不限于：蒙脱石、埃洛石、沸石及其非氧化类改性材料。

说明：研究表明，蒙脱石、埃洛石、沸石及其改性材料对土壤中的镉具有较好的固定作用。

6.4 部分规定了纵向和横向迁移梯度阻隔拦截技术实施要点。

6.4 第 7 章拦截效果监测与评估

本部分提出了监测采样类型、布点设计、监测周期与拦截效果评估。拦截效果监测可采集土壤、土壤渗滤液、地表水、地下水等样品，采样点布点数量和位置应符合 HJ25.2 及 HJ25.5 的规定，采样点的位置和深度宜覆盖整个阻隔范围及其边界。地下水监测井设置应达到监测拦截效果的目的，还应同时考虑土壤规划用途和用地红线范围。阻隔期间的取样周期宜满足及时反应阻隔效果便于调整阻隔材料用量的要求和时限，阻隔拦截效果满足地块阻隔要求后视为阻隔工程结束。阻隔工程完成后 0-6 个月采样监测周期宜 1 个月 1 次，完成 6-12 个月后 1 季度 1 次，完成 1 年后视为进入长期监测期，长期监测宜 1-2 年 1 次。阻隔前污染程度严重区域、表层土壤扰动较大的区域、阻隔边界区域作为重点监测区域，宜 1 年 1-2 次。监测后需同时对土壤拦截效果评估，确定镉矿区阻隔后的主要污染物水平、浸出毒性等，与技术方案中预先设置的指标比较。未达要求的，应采用局部重点阻隔的方式继续阻隔，直至达到拦截指标。

6.5 第 8 章环境管理要求

本部分提出了环境监测、环境管理内容，确保工程实施过程中的环境安全。修复后土壤需进行环境监测，包括长期监测对象、长期监测点位的布设、长期监测频次、长期监测指标、注意事项等。其中重点监测气象环境条件（降雨、冻融、

侵蚀等)变化及可能人为因素所产生的阻隔层开裂等。修复后铈矿区应进行必要的环境管理,包括施工期的环境管理、针对铈矿区建立环境管理监测台账、按照规定公开环境污染治理的相关信息等。

7 预期效果

本标准提供了总体要求、工艺原理与流程、工艺设计与施工要点、拦截效果监测与评估、环境管理等技术内容。本标准的实施能够有效规范铈矿区污染土壤梯度阻隔拦截技术在铈矿区污染土壤治理行业的应用,并指导行业运行实践。

8 重大意见分歧的处理依据及结果

目前处于征求意见阶段,尚未出现重大意见分歧。

9 作为推荐性标准或强制性标准的建议及理由

本标准为中华环保联合会团体标准。未涉及强制内容。

10 实施标准的措施(政策措施、宣贯培训、试点示范、配套资金)

本标准处于征求意见阶段,未进入实施阶段。

11 其他应说明的事项

无。

《铈矿区污染土壤梯度阻隔拦截技术指南》编制组

2022.11