团体标准

T/XXXX 00XX—202X

岩溶山地区金属矿区土壤污染风险管控与修复技术规范

|  |
| --- |
| **Technical specifications for soil pollution risk management and restoration in metal mining areas in karst plateau areas** |
| （征求意见稿） |

20XX - XX -XX发布

20XX - XX - XX实施

广东省土壤学会   发布

ICS

CCS

|  |
| --- |
|  |

目  次

[前 言 III](#_Toc129303103)

[1 范围 1](#_Toc129303104)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc129303105)

[3 术语和定义 1](#_Toc129303106)

[4 风险管控和修复工作流程 2](#_Toc129303107)

[5 矿区环境质量调查 4](#_Toc129303108)

[5.1 资料收集和分析 4](#_Toc129303109)

[5.2 区域确定及污染识别 4](#_Toc129303110)

[5.3 矿区污染分区 4](#_Toc129303111)

[5.4 矿区环境质量调查 4](#_Toc129303112)

[6 矿区分区分级风险评估 4](#_Toc129303113)

[6.1 风险评价标准 4](#_Toc129303114)

[6.2 矿区环境风险级别判定 4](#_Toc129303115)

[7 风险管控和修复 5](#_Toc129303116)

[7.1 管控和修复原则 5](#_Toc129303117)

[7.2 风险管控和修复目标确定 5](#_Toc129303118)

[7.3 矿区环境风险管控和修复技术体系 5](#_Toc129303119)

[7.4 矿区环境风险管控和修复验收 6](#_Toc129303120)

[8 长期监测与综合管理 6](#_Toc129303121)

[8.1 长期监测与综合管理基本原则 6](#_Toc129303122)

[8.2 长期监测与综合管理目标 6](#_Toc129303123)

[8.3 长期监测与综合管理系统设计思路 6](#_Toc129303124)

[8.4 长期监测与综合管理内容 7](#_Toc129303125)

[9 矿区环境风险管控验收 7](#_Toc129303126)

[9.1 修复管控措施效果验收 7](#_Toc129303127)

[9.2 长期监测方案验收 7](#_Toc129303128)

[9.3 数据分析与集成验收 7](#_Toc129303129)

[附　录　A （资料性） 单个地块环境污染风险级别判定方法 8](#_Toc129303130)

[附　录　B （资料性） 矿区整体环境风险判定 9](#_Toc129303131)

[附　录　C （资料性） 污染物风险管控和修复技术比选 12](#_Toc129303132)

[附　录　D （资料性） 污染源区土壤环境风险管控和修复技术体系 15](#_Toc129303133)

[附　录　E （资料性） 污染传输区土壤环境风险管控和修复技术体系 17](#_Toc129303134)

[附　录　F （资料性） 污染汇集区土壤环境风险管控和修复技术体系 18](#_Toc129303135)

[附　录　G （资料性） 长期监测与综合管理内容 19](#_Toc129303136)

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。

本文件由广东省土壤学会提出并归口。

本文件起草单位：贵州大学，中国节能中咨华瑞科技有限公司，中国科学院南京土壤研究所。

本文件主要起草人： 刘鸿雁、宋理洪、吴永贵、何进、吴攀、王浩、田康、黄标、吴龙华。

岩溶山地区金属矿区土壤污染风险管控与修复技术规范

1. 范围

本文件规定了岩溶山地区金属矿区土壤重金属污染风险管控和污染修复治理相关的术语和定义、环境调查、风险评价、风险管控和污染修复的工作程序。

本文件适用于岩溶山地区金属矿山场地及周边地区土壤重金属污染风险管控和污染修复，特别适用于中、低温热液汞、砷、锑、铊、铅、锌等的层控矿床，其它类似地区可参照执行。

1. 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 3838 地表水环境质量标准

GB 5085.1 危险废物鉴别标准 腐蚀性鉴别

GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别

GB 8978 污水综合排放标准

GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准

HJ/T 20 工业固体废弃物采样制样技术规范

HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则

HJ/T 91.1 污水监测技术规范

HJ/T 91.2 地表水环境质量监测技术规范

HJ/T 166 土壤环境监测技术规范

HJ 557 固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法

NY/T 395 农田土壤环境质量监测技术规范

环境保护部公告 第72号 建设用地土壤环境调查评估技术指南

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。



金属矿区污染场地 contaminated sites in metal mining areas

金属采矿、选矿、冶炼等环境风险源及其影响区域的空间边界范围。包括工业场地或地块、渣堆、尾矿库、周边农用地及河道等。

污染土壤 contaminated soil

根据人体健康风险评估或其它风险评估方法确定的存在人体健康风险或生态风险的土壤。

高浸出风险污染土壤 contaminated soil of high leaching risk

按照HJ 557规定方法进行浸出试验而获得的浸出液中，任何一种污染物的浓度超过GB 8978第一类污染物最高允许排放浓度（锑参照GB 30770）或经污染地块土壤重金属水体生态风险评估模型计算所得结果超过GB 3838 Ⅲ类地表水水域标准限值的土壤。

低浸出风险污染土壤 contaminated soil of low leaching risk

按照HJ 557规定方法进行浸出试验而获得的浸出液中，任何一种污染物的浓度均未超过GB 8978第一类污染物最高允许排放浓度（锑参照GB 30770）或经污染地块土壤重金属水体生态风险评估模型计算所得结果未超过GB 3838 Ⅲ类地表水水域标准限值的土壤。

固体废弃物 solid waste

指矿区范围内受污染工业地块等污染源影响，遗留的废弃构筑物和其它废弃物（包括历史遗留的废渣）及河道范围内尾砂（含废渣）等，按照GB 5085.1及GB 5085.3、GB 18599判定分为危险废物、II类固废以及I类固废。

污染物源区 pollutant source area

指矿山有色金属冶炼、采选较为集中的生产活动区域，已人为造成了环境污染和生态影响。

污染物传输区 pollutant transfer area

指污染物源区周边受地表径流携带污染物影响，且处于不稳定状态的区域。该区域既是污染物源区污染物的汇集区，也是下游污染物汇集区的源。

污染物汇集区 pollutant collection area

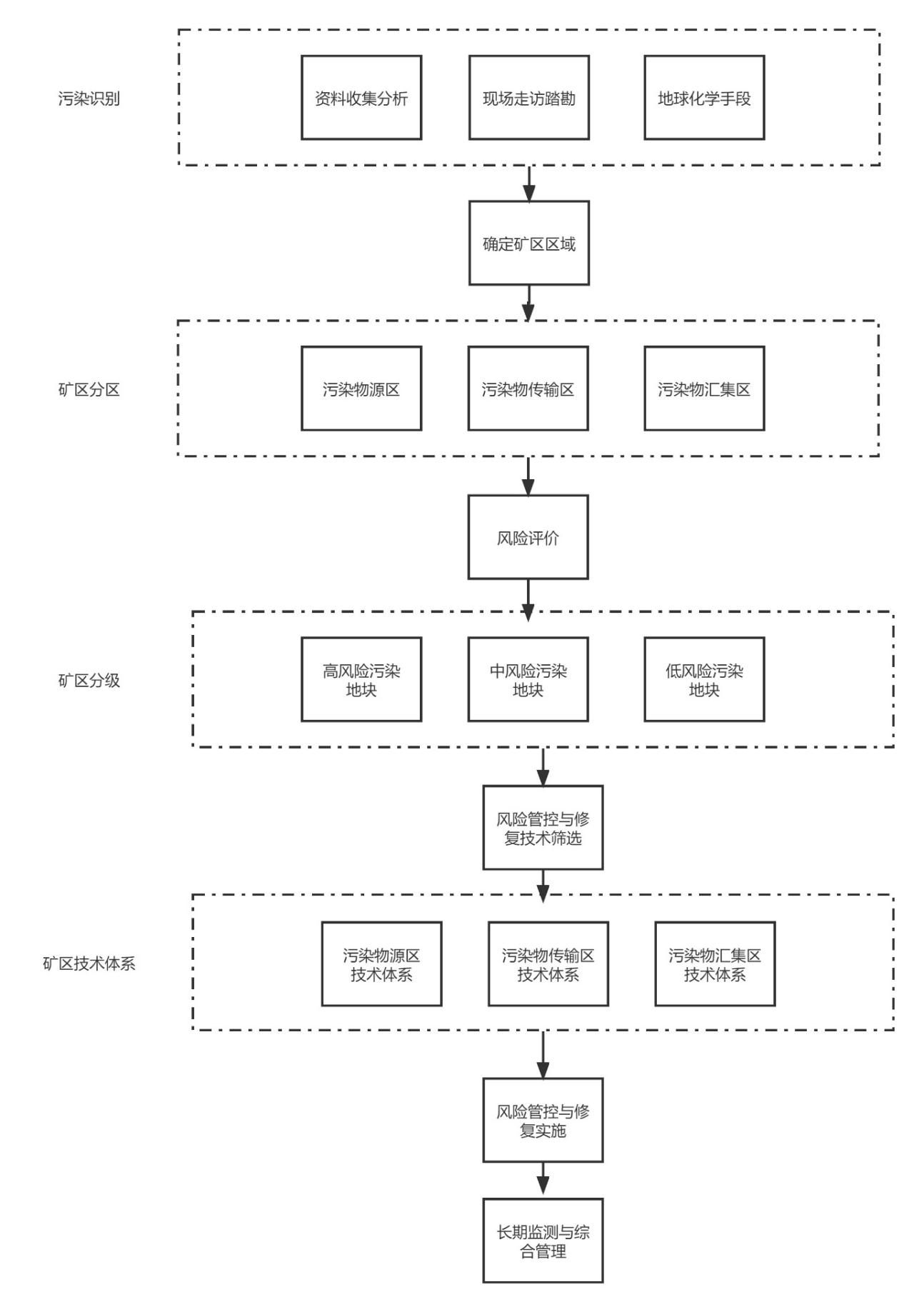
指污染源区周边，污染物处于稳定状态的汇集区。区域内土壤或沉积物受不同程度的重金属污染。

岩溶山地区 Karst plateau area

指我国云贵高原岩溶地貌发育的地区。

1. 风险管控和修复工作流程

金属矿区土壤污染风险管控与修复工作程序见图1。



1. 工作程序图
2. 矿区环境质量调查
   1. 资料收集和分析

采用信息检索、部门走访、电话咨询、人员访谈等方式，收集调查金属矿区及周边自然条件、矿山开发历史、生产状况、土壤重金属污染状况、土壤环境质量状况等图件和调查报告。核实和分析资料的完整性、有效性。

* 1. 区域确定及污染识别
     1. 基于高分遥感数据识别主要环境风险源、主要敏感点及敏感点周边影响区域，结合高分辨率DEM数据，利用GIS空间分析方法，根据汇水面积、用地性质、行政区划等获取矿区区域范围。
     2. 根据收集的资料、现场踏勘及文献分析等方式，结合现场快速检测设备检测，初步确定矿区内污染来源、矿区内工业场地历史和生产工艺及周边敏感受体，判断场地潜在污染区域，分析识别污染物、污染程度及分布情况。
  2. 矿区污染分区
     1. 根据矿区源-径-汇关系及污染特征，对矿区及周边区域分级分区，分为污染物源区、污染物传输区、污染物汇集区。
     2. 污染物源区包括关闭淘汰企业、尾矿库、无主废渣堆堆存区等。
     3. 污染物传输区包括上述“污染物源区”界线外周边300米范围内的工业用地、农用地土壤和下游1公里范围内的河道水体及地方公众或地方环保管理部门较为关注的环境区域。
     4. 污染物汇集区包括面积较为集中的耕地区域、人口密集区域、各级饮用水源保护区、地表水汇集区等。
  3. 矿区环境质量调查

根据HJ/T 20、HJ 25.1、HJ/T 91.1、HJ/T 91.2、HJ/T 166、NY/T 395、《建设用地土壤环境调查评估技术指南》等要求，查明污染物源区、污染物传输区、污染物汇集区的污染现状，包括污染物、污染程度及污染范围、污染物空间分布、迁移状况与污染边界等详细情况，结合调查污染物源区、污染物传输区、污染物汇集区空间位置及浓度分布等信息，分析污染物源区对污染物传输区、污染汇集区的影响关系，为污染范围的确定及污染土方的估算及后续风险评价、污染管控、修复治理提供基础资料。

1. 矿区分区分级风险评估
   1. 风险评价标准

土壤、农作物、水体、固体废弃物质量评价标准执行国内现行标准。

* 1. 矿区环境风险级别判定
     1. 判定方法

在污染物源区、污染物传输区、污染物汇集区内的地块，根据场地内的风险因子存在与否确定单个场地污染风险分级。然后，通过评估各个场地内污染物到达敏感受体的可能性大小来判定整体环境污染风险分级。

* + 1. 单个地块风险分级
       1. 在以上污染分区内，一般存在以下污染风险因子：

1. 没有风险管控措施的危废；
2. 没有风险管控措施的二类固废；
3. 埋深较浅的一类固废；
4. 埋深较浅的总量超标污染土壤；
5. 埋深较浅的浸出超标污染土壤；
6. 超标地下水；
7. 浸出量超标底泥/尾砂；
8. 超标地表水；
9. 总量超标底泥/尾砂；
10. 总量超标的耕地土壤。
    * + 1. 考虑风险因子在污染区内地块风险管控措施的有无、污染物通过污染扩散/暴露敏感受体（耕地、地表水体、各个场地生活的人群以及周围居住区）的可能性大小，考虑各种场地的特点，对单个地块进行环境污染风险级别判定，分为高风险污染地块、中风险污染地块及低风险污染地块。判定方法见附录A。
      1. 整体环境风险分级

矿山整体环境风险分级考虑区域污染源、敏感受体重要性、污染暴露/扩散途径、污染物人体健康危害效应、距敏感受体距离等因素，相关指标和赋值及综合风险指数计算方法见附录B。最终，按指标值大小及后续管控和修复需求确定风险等级。

1. 风险管控和修复
   1. 管控和修复原则
      1. 综合分析不同污染分区和不同污染级别土壤的污染物类型、程度、范围、成因，考虑污染物在矿区内的源-径-汇关系，确定最适的管控和修复治理原理，结合当地自然条件、土地利用状况、资金投入情况和公众接受度，科学合理地选择管控和修复技术。
      2. 在污染物源区，以隔离、固定、降低污染物活性为原则，采取工程、化学修复、生态恢复等手段，消除对地下水和地表水的影响。
      3. 在污染传输区，以切断污染途径为原则，采取工程、生态恢复、监控和应急等手段，阻断污染物到达敏感受体。
      4. 在污染汇集区，以污染物管控和治理为原则，采取替代种植、化学和生物修复、农艺措施等手段，实现土壤安全利用。
   2. 风险管控和修复目标确定

通过风险管控和修复技术体系实施，消除或减轻场地土壤污染源负荷、阻断污染暴露/扩散、控制/消除风险因子，以降低整体环境风险，使高风险污染地块转化为中、低风险污染地块或无风险地块。对农用地而言，实现耕地土壤安全利用，

* 1. 矿区环境风险管控和修复技术体系

根据矿区污染风险程度和风险因子的识别和判定，从成熟性、时间条件、成本、应用适应性、应用局限性等方面考虑筛选风险管控与修复技术，分区提出风险管控和修复技术体系，分析实施后的风险程度和风险因子，将高风险地块逐级转化为中、低风险地块。污染物风险管控和修复技术比选可参见附录B。污染物源区、污染物传输区、污染物汇集区修复技术体系见附录D～附录F。

* 1. 矿区环境风险管控和修复验收

通过风险管控和修复技术实施，高污染风险地块实施后风险因子得到控制，使高风险污染地块转化为中、低风险污染地块或无风险地块。风险因子可见附录C～附录E。

1. 长期监测与综合管理
   1. 长期监测与综合管理基本原则
      1. 理顺体制机制

明确各方责任体制，完善考核机制，严格质量管理制度，保障监测数据的独立性和公正性。

* + 1. 强化质量控制

实现环境质量监测活动全要素溯源传递和全过程质量控制，保障监测数据的科学性和可比性。

* + 1. 吸纳先进技术

综合运用在线监测、地理信息系统、数学模型等先进技术，构建在线监测网络，多方位监测管控和修复项目的建设运行情况。

* 1. 长期监测与综合管理目标

以管控和修复效果为核心，以实时的过程数据为支撑，建立可评估、可追溯的智慧管控平台及考核评估体系，支撑项目的过程监管、考核评估与综合管理。在项目实施阶段，对监测数据进行采集、存储、对比与分析，实现土壤管控和修复全过程监控，评估是否达到预期效果。在运营维护阶段，充分发挥智慧监控平台在科学决策、信息发布与管控等方面作用，实现工程措施与非工程措施的“动态感知”相结合，实现项目预期效果与考核目标“对标管理”。

* 1. 长期监测与综合管理系统设计思路
     1. 构建一体化在线监测网络

构建集土壤、水质、水位、流量于一体的在线监测网络，辅助以人工采集方式，实现管控与修复建设项目动态数据采集和远程传输，并为土壤修复信息化管控平台的开发提供数据支撑。

* + 1. 建立智慧环保管控平台

实现智慧环保一张图可视化展示、监测数据集成显示、考核指标动态评估、智慧环保项目信息管理、现场运行情况采集等功能，实现信息的协同与互动，支持智慧环保建设管理和智慧环保的考核评估。

* + 1. 实现全生命周期管理

开展采选矿区全方位、长期有效的过程监测，以土壤环境综合治理工程建设运营数据为基础，建设绩效指标计算评价管理系统，形成以指标为核心的运营对标决策管理体系，对已建项目进行工程效益自评估与内部考核。本指南基坑清理、异位管控后土壤、原位管控后土壤评估采样节点、布点数量与位置及效果评估方法参照HJ 25.5执行。

* 1. 长期监测与综合管理内容

主要由智慧集成监测和管理系统组成，主要内容见附录G。

1. 矿区环境风险管控验收
   1. 修复管控措施效果验收

矿区风险管控验收包括矿区范围内的污染场地、农用地、河道及尾矿库管控措施验收：

1. 矿区范围内的污染场地治理修复验收程序及要求根据《工业场地治理与修复技术体系》执行。
2. 矿区范围内的重金属污染农用地治理修复验收程序及要求根据《重金属污染农田治理与修复技术体系》执行。
3. 矿区范围内的河道治理修复验收程序及要求根据《河道治理与修复技术体系》执行。
4. 矿区范围内的尾矿库风险管控措施验收根据实施方案及设计要求进行验收，如拦渣坝、挡土墙、截洪沟、渗滤液收集池设施须满足设计要求。
   1. 长期监测方案验收
      1. 土壤环境监测

分工业场地土壤、农用地土壤，待检特征污染物可根据项目关注污染物确定，具体取样方式、监测频次可参照《工业场地治理与修复技术体系》11.2监测要求及《重金属污染农田治理与安全利用技术体系》10.2监测要求；

* + 1. 水质环境监测

在河道关键站点、河道重要站点、基本常规站点等区段，选取典型水质监测点位布设。监测因子主要包括As、Cd、Sb、Pb、Zn及其它特征污染物、COD、氨氮、pH值、电导率等参数；具体取样方式、监测频次可参照《河道治理与修复技术体系》10.2监测要求。

* 1. 数据分析与集成验收

数据分析系统对系统内及系统外的信息进行全面的汇聚，以便进行各种数据挖掘，更好的对场地环境系统里的各类元素进行迭代分析。系统收集感知层回传的各类监测数据，包括各类业务监测数据等结构化数据及图像视频等非结构化数据，所有数据将存在关系型数据库及NOSQL数据中，为数据显示查询、数学模型计算、数据统计分析等业务功能提供基础数据。系统内各类运行数据的分析和集成，对矿区区域环境风险管控的长效监控、预测预警具有重要指导意义。

2. （资料性）
3. 单个地块环境污染风险级别判定方法
   1. 单个地块环境污染风险级别判定方法见表A.1。

表A.1 单个地块环境污染风险级别判定方法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 污染分区 | 高污染风险地块 | 中污染风险地块 | 低风险地块 |
| 污染物源区 | 符合以下条件之一：  1）存在没有风险管控措施的危废；  2）存在没有风险管控措施的二类固废；  3）存在一类固废，且埋深1米以内；  4）地下1米以内存在总量超标土壤；  5）地下1米以内存在浸出超标土壤；  6）存在超标地下水。 | 符合以下条件之一：  1）存在已经采取风险管控措施的二类固废，一类固废，超标土壤等，但管控措施不充分；  2）存在一类固废但埋深1米以上；  3）存在浸出超标土壤但埋深1米以上。 | 符合以下条件之一：  1）存在污染因子，包括类固废，一、二类固废，超标土壤等，但已经采取风险管控措施；  2）存在总量超标土壤但埋深超1米以上。 |
| 污染物传输区 | 符合以下条件之一：1）存在浸出超标的底泥/尾砂；  2）存在水质超标；  区域内风险因子与重要敏感目标的距离在500米以内，且存在污染扩散途径。 | 符合以下条件之一：  1）存在污染总量超标，但浸出不超标的底泥/尾砂；  区域内风险因子与重要敏感目标的距离在500-800米。 | 符合以下条件之一：  1）存在污染因子但已经采取风险管控措施  2）区域内风险因子与重要敏感目标的距离超过800米。 |
| 污染物汇集区 | 1）根据耕地土壤环境质量类别划分为严格管控类，且农产品严重超标。 | 1）根据土壤污染程度划分为严格管控类且农产品不超标  2）根据耕地土壤环境质量类别划分为安全利用类且农产品轻微超标。 | 根据土壤污染程度划分为安全利用类且农产品不超标。 |

2. （资料性）
3. 矿区整体环境风险判定
   1. 从区域整体环境风险防控的角度出发来判断区域内，重点是污染物源区和污染物传输区内每个场地内的污染因子对于污染物汇集区的污染风险程度，根据单个场地内污染风险因子通过污染暴露/扩散途径到达污染物汇集区内重要敏感受体的可能性大小来判定。首先确认污染物汇集区内敏感受体的重要度顺序，矿区的重要敏感受体和污染扩散/暴露途径如下：
4. 重要敏感受体：农用地；地表水体；各个场地生活的人群以及周围居住区。
5. 污染扩散/暴露途径： 摄取农用地的农作物；地表径流到达地表水体，农用地以及周围居住区；场地内人群直接摄取污染土壤颗粒；地下渗透到达地下水或地表水体。
   1. 评价因子为场地与重要敏感目标的距离，参考GB 18598及GB 18599，矿区内整体环境风险程度判定方法见下表B.1。

表B.1矿区整体环境风险程度判定方法

| 用地分类 | 区域高污染风险地块 | 区域中污染风险地块 | 区域低风险地块 |
| --- | --- | --- | --- |
| 工业地块 | 符合以下条件之一：   1. 存在没有风险防控措施的危废，Ⅱ类固废； 2. 存在高风险地块所规定的污染因子，且与重要敏感目标的距离在800米以内，且存在污染扩散途径 | 符合以下条件之一：   1. 存在高风险地块所规定的污染因子，但与重要敏感目标的距离超过800米； 2. 存在中风险地块所规定的风险因子，与重要敏感目标的距离在500米以内，且存在污染扩散途径。 | 符合以下条件之一：   1. 单个场地被判定为低风险地块； 2. 存在高-中风险地块所规定的污染因子，但与重要敏感目标的距离在规定之外的。 |
| 河道 | 符合以下条件之一：   1. 存在浸出超标底泥/尾砂 2. 存在水质超标 | 存在污染总量超标，但浸出不超标的底泥/尾砂 | 存在污染因子但已经采取风险防控措施 |
| 农用地 | 土壤污染程度分级为严格管类 | 存在土壤污染程度分级为安全利用类 | 存在土壤污染程度分级为优先保护类 |

* 1. 矿区管控措施实施顺序根据各个高风险地块的污染因子计算场地指标分值判定（风险指数）：

1. 对于污染物源区、污染物传输区与污染物汇集区为一体的，以污染源和敏感受体的指标分值对风险指数进行评价，按公式（1）；

P=（A+B）\*C (1)

式中：

P——地块风险得分；

A——污染因子指标分值；

B——敏感受体指标分值；

C——污染物对人体健康的危害效应。

1. 对于相对独立的污染物源区和污染物传输区内存在的污染源，在污染源和敏感受体的指标分值基础上增加污染暴露/扩散途径为三级指标，算出各场区域内高风险地块的风险指数，按公式2计算。

P=（A+B）\*C\*D/S (2)

式中：

D——污染暴露；

S——扩散途径的指标分值。

* 1. 区域管控措施实施顺序根据各个高风险地块的污染因子计算场地指标分值判定。整体得分依据区域污染源等级划分及指标分值、敏感受体指标分值、污染暴露/扩散途径指标及污染物对人体健康的危害效应分值综合判定，见表B.2～B.4。

表B.2区域污染源等级划分及指标分值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 指标 | | 指标赋值 | |
| 污染因子 | 污染特性 | 指标等级 | 指标分值 |
| 没有风险防控措施的危废 | 污染物超标总倍数（Es）a | Es≥ 50 | 40 |
| 10≤ Es ＜ 50 | 20 |
| Es ＜ 10 | 10 |
| 没有风险防控措施的二类固废 | 污染物超标总倍数（Es）a | Es≥ 50 | 30 |
| 10≤ Es ＜ 50 | 15 |
| Es ＜ 10 | 5 |
| 埋深1米以内的一类固废 | 浸出浓度低于综合排放标准 |  | 5 |
| 埋深1米以内的浸出超标土壤 | 污染超标总倍数（Es）a | Es≥ 100 | 20 |
| 10≤ Es ＜ 100 | 10 |
| Es ＜ 10 | 5 |
| 埋深1米以内的全量超标土壤 | 污染超标总倍数（Es）a | Es≥ 100 | 10 |
| 10≤ Es ＜ 100 | 5 |
| Es ＜ 10 | 1 |
| 河道水质超标 | 污染超标总倍数（Es）a | Es≥ 100 | 30 |
| 10≤ Es ＜ 100 | 15 |
| Es ＜ 10 | 5 |
| 河道内浸出超标底泥/尾砂 | 1. 污染超标总倍数（Es）a | Es≥ 100 | 20 |
| 10≤ Es ＜ 100 | 10 |
| Es ＜ 10 | 2 |
| 河道内全量超标底泥/尾砂 | 1. 污染超标总倍数（Es）a | Es≥ 100 | 10 |
| 10≤ Es ＜ 100 | 5 |
| Es ＜ 10 | 1 |
| 农用地总量超标土壤 | 1. 污染超标总倍数（Es）\* | Es≥ 100 | 30 |
| 10≤ Es ＜ 100 | 15 |
| Es ＜ 10 | 5 |
| 对所有污染因子通用项目 | 污染物对人体健康的危害效应 | 高毒性（Pb,As,Cd,Hg,Sb） | 1 |
| 低毒性(Zn) | 0.5 |
| a：指标等级中的数值为该指标的等级得分，需计算后得到。 | | | |

表B.3 敏感受体等级划分及指标分值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 指标 | | 指标赋值 | |
| 场地类型 | 特性因素 | 指标等级 | 指标分值 |
| 工业场地 | 地块土地利用方式 | 农业、住宅用地 | 20 |
| 商业、公共场所用地 | 10 |
| 工业等非敏感用地 | 5 |
| 林地，草地等 | 1 |
| 地块边界到下游敏感目标的距离 | Ds＜ 150米 | 20 |
| 150米≤ Ds ＜ 500米 | 10 |
| 500米≤ Ds ＜ 800米 | 5 |
| Ds≥ 800米 | 1 |
| 河道 | 河道水资源利用方式 | 水源保护区、食品加工、饮用水 | 20 |
| 农业灌溉用水 | 10 |
| 工业用途或不利用 | 5 |
| 农用地 | 使用情况 | 无管控措施 | 20 |
| 有管控措施但不充分 | 5 |
| 有管控措施 | 1 |

表4污染暴露/扩散途径等级划分及指标分值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 指标 | | 指标赋值 | | |
| 场地类型 | 暴露/扩散途径 | 指标等级 | 指标分值 | |
| 工业场地 | 直接暴露（吸入/皮肤接触） | 地表面无措施 | 1.0 | |
| 地表面硬化 | 0.3 | |
| 地表面覆土阻隔 | 0.1 | |
| 浸出污染扩散 | 地表径流 | 1.0 | |
| 地下渗透 | 0.3 | |
| 有阻隔等管控措施 | 0.1 | |
| 农用地 | | 土地利用情况 | 考虑是否有管控措施 | |

2. （资料性）
3. 污染物风险管控和修复技术比选
   1. 污染物风险管控和修复技术比选见表C.1。

表C.1 污染物风险管控和修复技术比选

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 技术名称 | 技术简介 | 成熟性 | 时间条件 | 成本 | 应用适应性 | 应用局限性 | 技术应用类型 |
| 1 | 土壤  淋洗 | 用水或表面活性剂溶液淋洗受污染土壤，将固相中重金属转移至土壤溶液中，再淋洗液无害化处理。 | 技术成熟/国内应用较多 | 需时1-12个月 | 中等到较高 | 适用于大粒径、低有机碳沙质土壤。 | 以粘土和粉土为主的土壤 | 污染源控制技术 |
| 2 | 水泥  窑法 | 污染土壤和水泥生料混合，在水泥窑中高温加热熔化，污染物转变为稳定的玻璃和固态晶体，或控制污染土壤的配比，烧制为水泥。 | 技术成熟/国内应用较多 | 视水泥窑数量和容量而定。 | 中等到较高 | 适用于含不易挥发重金属污染土壤。 | 控制添加比不当会影响水泥质量；汞、砷等易挥发重金属不适合。 | 污染源控制技术 |
| 3 | 制砖 | 固废或污染土壤无害化处理后掺加黏土烧制砖块。 | 技术成熟/国内应用较多 | 小于3个月 | 很低 | 适用于高黏土含量的固废或土壤 | 污染物含量不宜过高 | 污染源控制技术 |
| 4 | 截洪沟 | 污染源周边建设截排水沟，阻止大气降水或地表径流进入地块。 | 技术成熟/国内应用较多 | 小于3个月 | 中等 | 适用于周边汇水面积较大的地块 | 无 | 污染源控制技术 |
| 5 | 拦砂坝 | 通过建设各类材质挡渣墙，阻隔固废或污染土壤进行下游。 | 技术成熟/国内应用较多 | 小于3个月 | 中等 | 适用于固废填埋场地 | 污染源边界不清时，使用受限 | 污染源控制技术、污染传输区治理技术 |
| 6 | 生态湿地 | 利用湿地对经冲刷含污染物的径流雨水进行净化、吸附。 |  | 大于6个月 | 中等 | 适合与景观设计结合建设 | 净化周期长，效果缓慢 | 污染源控制技术、污染传输区治理技术 |
| 7 | 阻隔  填埋 | 将污染土壤运入底部和侧壁均有防渗处理、且有完善导排导渗设施的阻隔填埋场；或在原位四周修建隔离墙，上层防渗处理，进行阻隔覆盖。 | 技术成熟/国内应用较多 | 需时3-12个月 | 中等 | 适合于活动性弱的污染物 | 不适用于水溶性强或渗透率高的污染土壤；或地质活动频繁和地下水位髙的地区 | 污染源控制技术、污染传输区治理技术 |
| 8 | 固化/稳定化 | 通过添加固化/稳定剂改变土壤理化性质，或将污染物转化成化学不活泼形态，阻止迁移、扩散。 | 技术成熟/国内有较多工程应用 | 需时间1-12个月 | 中等 | 简单易行，适合各种污染物 | 不能降低污染物全量；需长期监测 | 污染源控制技术、污染传输区治理技术 |
| 9 | 电动力学法 | 在低强度直流电作用下，土壤中带电金属离子在电场内通过电渗析向电极室迁移，然后将金属收集，集中处理。 | 技术成熟/国内处于实验室研究阶段，可能有应用。 | 需时间1-2年，甚至更长。 | 中等到较高 | 可处理所有重金属及吸附性较强的有机物污染物。污染物浓度可以从很低到较高。 | 含水率太低不利于处理。处理费用较高。如果控制不当，处理效果不明显 | 污染源控制技术、污染传输区治理技术 |
| 10 | 功能植物群落建植 | 在废弃矿渣堆表面建植特定功能植物，在根系抑制产酸微生物的丰度和活性减少酸化和污染物释放。 | 技术成熟/国内已有示范应用 | 需1-5年，甚至更长。 | 中等 | 可处理硫化物矿的废弃矿渣。 |  | 污染源控制技术、污染传输区治理技术 |
| 11 | 无土喷涂生物覆盖 | 利用农业和工业废弃物加特定草种制成无土生物覆盖材料喷涂在矿渣堆表面，减少污染物淋溶和径流。 | 技术成熟/国内已有示范应用 | 需要1-2年 | 较低 | 可固定矿渣堆的陡坡区，减少扩散 |  | 污染源控制技术、污染传输区治理技术 |
| 12 | 资源化 | 废矿石、固废提纯；污染土壤、固废、河道底泥/尾砂免烧砖建筑材料。 | 比较成熟 | 需时3-12个月 | 提纯成本高；建筑材料成本较低 | 提纯适用于品位较高矿石；建筑材料适用范围广泛 | 矿石品位低成本增加；用于建筑材料时，浸出超标需要稳定化处理 | 污染源控制技术、污染传输区治理技术 |
| 13 | 生态隔离带 | 基于群落生态学原理，构建了基于生物多样性保育的立体乔灌草生态拦截带，强化植物和土壤微生物对土壤重金属的富集吸收和根系对地表水的分层拦截作用 | 技术成熟/国内偶有应用 | 需要1-2年 | 较低 | 适用于尾矿堆周边有土壤存在的区域 | 隔离带构建需要一定时间，实施过程中受气候条件影响较大。 | 污染传输区治理技术 |
| 14 | 无动力产碱 | 利用石灰岩围岩提高渗漏液酸度，固定重金属污染物 | 技术成熟/国内偶有应用 | 小于3个月 | 较低 | 适用于石灰岩围岩分布区 |  | 污染传输区治理技术 |
| 11 | 植物  修复 | 在污染耕地上种植特殊植物固定或移除土壤污染物，主要包括：植物稳定、植物挥发和植物提取。 | 技术成熟/国内偶有应用 | 需1-5年，甚至更长。 | 较低 | 适用于中低污染农田土壤 | 需间长，仅限表层土壤污染物修复，修复植物需处理。 | 污染汇集区治理技术 |
| 12 | 非食用作物种植 | 污染土壤种植非食用植物，如花卉、观赏植物、经济林木。 | 成熟 | 3-6个月 | 较低 | 适用于重污染农田土壤 | 植物产品利用和销售存在瓶颈。 | 污染汇集区治理技术 |
| 13 | 种植结构调整 | 通过调整种植作物的方式切断污染物进入食物链的途径。 | 比较成熟 | 不低于1年 | 较低 | 适用于中低污染农田土壤 | 周期较长，不适合重污染土壤 | 污染汇集区治理技术 |
| 14 | 原位钝化 | 通过添加外源修复剂，改变土壤中重金属赋存形态，降低生物有效性，减少重金属对作物的毒害和农产品积累 | 比较成熟 | 不低于1年 | 较低 | 对镉、砷等污染物稳定化效果较好，阻断效率高 | 周期较长，应用效果不稳定 | 污染汇集区治理技术 |

2. （资料性）
3. 污染源区土壤环境风险管控和修复技术体系
   1. 污染源区土壤环境风险管控和修复技术体系见表D.1。

表D.1 污染源区土壤环境风险管控和修复技术体系

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 实施前风险因子 | 管控修复技术 | | 修复原理 | 实施后风险因子 |
| 存在没有风险管控措施的危废 | 措施一：清挖固废，外运到有处置资质的单位或一般工业固体废物贮存，处置场处理 | | 移除清理 | 无污染风险地块；  风险因子：无 |
| 措施二：功能植物群落建植。 | | 阻断地表水接触尾矿 | 低污染风险地块；  风险因子：存在危废，但已经采取风险防控措施。 |
| 措施三：通过固化/稳定化处理，达标后原地阻隔填埋 | | 降低重金属有效性  阻隔浸出液 | 低污染风险地块；  风险因子：存在危废，但已经采取风险防控措施。 |
| 存在没有风险管控措施的二类固废 | 措施一：无土喷涂技术 | | 阻断地表水接触尾矿、控制流失 | 低污染风险地块；  风险因子：存在危废，但已经采取风险防控措施。 |
| 措施二：通过固化稳定化处理，原地阻隔填埋处置 | | 降低重金属有效性  阻隔浸出液 | 低污染风险地块；  风险因子：存在一类固废，但已经采取风险管控措施 |
| 存在一类固废，且埋深1米以内 | 措施一：功能植物群落建植。 | | 阻断地表水接触尾矿 | 低污染风险地块；  风险因子：存在危废，但已经采取风险防控措施。 |
| 措施二：清挖固废，原地阻隔填埋处置 | | 阻隔浸出液 | 低污染风险地块；  风险因子：存在一类固废，但已经采取风险管控措施 |
| 措施三：原位表层阻隔处置（1米以上隔离材料） | | 阻断大气降水 | 中污染风险地块；  风险因子：存在一类固废，但埋深超过1米以上 |
| 存在总量超标土壤，且埋深1米以内 | 措施一：功能植物群落建植。 | | 阻断地表水接触尾矿 | 低污染风险地块；  风险因子：存在危废，但已经采取风险防控措施。 |
| 措施二：清挖污染土壤，原地阻隔填埋处置 | | 阻隔浸出液 | 低污染风险地块：存在污染土壤，但已经采取风险管控措施 |
| 措施三：原位表层阻隔处置（1米以上隔离材料） | | 阻断大气降水 | 低污染风险地块：存在总量超标土壤，但埋深超过1米以上 |
| 存在浸出超标土壤，且埋深1米以内 | 措施一：功能植物群落建植。 | 阻断地表水接触尾矿 | | 低污染风险地块；  风险因子：存在危废，但已经采取风险防控措施。 |
| 措施二：全部超标土壤固化/稳定化后原地阻隔填埋处置 | | 降低重金属有效性 | 低污染风险地块；  风险因子：存在总量污染土壤，但已经采取风险管控措施 |
| 措施三：1米以内的污染土壤固化/稳定化后，原地阻隔填埋处置 | | 降低重金属有效性 | 中污染风险地块；  风险因子：存在浸出超标土壤，但埋深超过1米以上 |
| 措施四：原位表层阻隔处置（1米以上隔离材料） | | 阻断大气降水渗透  阻隔浸出液 | 中污染风险地块；  风险因子：存在浸出超标土壤，但埋深超过1米以上 |

2. （资料性）
3. 污染传输区土壤环境风险管控和修复技术体系
   1. 污染传输区土壤环境风险管控和修复技术体系见表E.1。

表E.1 污染传输区土壤环境风险管控和修复技术体系

| 实施前风险因子 | 管控措施 | 修复原理 | 实施后风险因子 |
| --- | --- | --- | --- |
| 污染源区风险因子与重要敏感目标的距离在500米以内，且存在污染扩散途径。 | 措施一：在污染源周边修建截洪沟；污染扩散场地进行生态复绿 | 阻断大气降水渗透  阻断污染物扩散 | 阻断直接扩散途径，减缓扩散 |
| 措施二：生态隔离带 | 减少污染物产生径流  吸收部分重金属 | 减缓径流扩散，降低土壤污染物含量 |
| 污染源区风险因子与重要敏感目标的距离在500-800米。 | 措施一：污染扩散场地进行生态复绿 | 降低污染物扩散 | 减缓扩散 |
| 措施二：生态隔离带 | 减少污染物产生径流  吸收部分重金属 | 减缓径流扩散，降低土壤污染物含量 |

2. （资料性）
3. 污染汇集区土壤环境风险管控和修复技术体系
   1. 污染汇集区土壤环境风险管控和修复技术体系见表F.1。

表F.1 污染汇集区土壤环境风险管控和修复技术体系

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 实施前风险因子 | 管控措施方案 | 修复原理 | 实施后风险因子 |
| 根据耕地土壤环境质量类别划分为严格管控类的 | 措施一：采取种植结构调整，种植具有一定经济价值的作作物，如纤维植物 | 阻断污染物进入食物链；  带走部分污染物，为工业产品提供原材料 | 低污染风险地块；  风险因子：土壤重金属超过管控值 |
| 措施二：采取退耕还林措施 | 阻断污染物进入食物链 | 低污染风险地块；  风险因子：土壤重金属超过管控值 |
| 措施三：种植超积累植物，配套植物处置技术 | 去除土壤污染物 | 无污染风险地块；  风险因子：无 |
| 根据耕地土壤环境质量类别划分为安全利用类的 | 措施一：低积累作物种植 | 低富集作物；  阻断污染物进入食物链 | 低污染风险地块；  风险因子：土壤超过筛选值 |
| 措施二：采取退钝化措施，即在土壤中添加药剂，例如生物制剂等，防止农作物吸收重金属。 | 降低重金属有效性 | 低污染风险地块；  风险因子：土壤超过筛选值 |
| 措施三：采取末端治理措施，即种植超富集植物-低积累经济作物间作修复 | 植物萃取  低富集作物 | 无污染风险地块；  风险因子：无 |

2. （资料性）
3. 长期监测与综合管理内容
   1. 智慧集成监测和管理系统组成

智慧集成监测和管理系统组成包括以下内容：

1. 监测体系。可实现对土壤中重金属、水位、水质、流量等各类信息的自动化监测和人工监测。对于气象、环保、交通、建设等相关部门的数据信息，进行共享接入；
2. 通信体系。可实现监测数据的实时传输功能；
3. 数据计算中心。可实现监测数据海量存储、深度挖掘分析，支撑智能学习应用；为数据中心配设相应的安全监控软件，部署备份中心；
4. 模型体系。可实现土壤污染环境评估、水环境评估、工程运行调度等模型耦合应用，形成功能齐全的模型体系；
5. 智慧管理服务平台。可在数据、通信、云存储计算的支撑下，实现水环境质量管理、区域生态质量管理、绩效考核、考评数据采集、土壤修复信息发布等全方位的智慧环保服务。
   1. 智慧集成监测和管理系统内容

系统将物联网、云计算、大数据技术与土壤管控和修复应用紧密结合，形成了有专业特色的智能集成监测和管理技术，提供了系列化的行业应用标准平台。将在线监测与在线数值模拟技术结合，为管理部门提供及时精准的决策依据。其内容包括：

1. 感知层。主要包括数据采集部分，包括两部分内容，一是在线自动监测部分，包含所有的智能终端（土壤、流量、水位、水质等）；二是数据共享接入；
2. 通信层。由于监测点分布在不同的检测场景下，通信网络需要根据环境及传感设备进行设计，系统使用4G无线网络进行远距离传输，并可兼容太阳能电池板、市电、蓄电池多种供电方式；
3. 数据中心层。为系统数据提供存储服务，包括所有监测数据、地理信息数据、设备基本信息、用户信息。数据中心层从物理层面到软件系统层面，保证数据安全性、完整性。采用虚拟化技术对物理资源进行集中分配，节约资源，增强维护性及安全性；
4. 模型计算层。基于现场监测数据及管控区的地理信息，建立适用于管控区水、土环境数据关系模型，实现快速的环境预测定性分析功能；
5. 智慧业务应用层。在全面的监测感知、通信传输、数据计算服务的支撑下，实现一张图、一张表、考评数据采集、土壤修复信息发布、绩效考核管理的智慧化土壤修复管理服务；
6. 展示层。应用各种先进技术进行业务成果的发布展示。具体展示方式包括B/S端、高清大屏幕。展示终端通过网络与数据计算服务中心建立通信，运行智慧环保管控平台，支撑日常运维管控和成果展示应用。

参 考 文 献

1. GB 18598 危险废物填埋污染控制标准
2. GB 30770 锡、锑、汞工业污染物排放标准
3. HJ 25.5 污染地块风险管控与土塘修复效率评估技术导则（试行）
4. 工业场地治理与修复技术体系
5. 重金属污染农田治理与安全利用技术体系
6. 河道治理与修复技术体系

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_