|  |  |
| --- | --- |
| ICS |  |
| CCS |  |

|  |
| --- |
| 61 |

陕西省地方标准

DB 61/T 1214—2023

秦岭南麓典型金属矿区土壤重灾区重金属污染修复技术规程

Technical regulations for remediation of heavy metal pollution in disaster zone

of typical metal mining areas at the southern foot of the Qinling Mountains

XXXX-XX-XX发布

XXXX-XX-XX实施

陕西省市场监督管理局  发布

目次

[前言 II](#_Toc153266228)

[引言 III](#_Toc153266229)

[1 适用范围 4](#_Toc153266230)

[2 规范性引用文件 4](#_Toc153266231)

[3 相关术语和定义 5](#_Toc153266232)

[4 基本原则 6](#_Toc153266233)

[5 工作程序 6](#_Toc153266238)

[5.1 土壤污染状况调查 6](#_Toc153266239)

[5.2 土壤污染现状监测 7](#_Toc153266245)

[5.3 土壤污染指数计算 10](#_Toc153266255)

[5.4 土壤污染等级和污染程度评判 11](#_Toc153266259)

[5.5 修复目标确定 11](#_Toc153266260)

[5.6 修复要求确认 11](#_Toc153266264)

[5.7 修复模式选择 11](#_Toc153266265)

[5.8 修复技术筛选 12](#_Toc153266269)

[5.9 修复方案分类 13](#_Toc153266276)

[5.10 修复方案制定 13](#_Toc153266277)

[5.11 修复效果评估 14](#_Toc153266286)

[附 录 A 15](#_Toc153266287)

[(资料性) 15](#_Toc153266288)

[附 录 B 16](#_Toc153266289)

[(资料性) 16](#_Toc153266290)

1. 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。

本文件由陕西省农业农村厅提出。

本文件由陕西省农业农村厅归口。

本文件起草单位：西安文理学院、生态西安研究院、西安市环境科学研究院、甘肃省矿区污染治理与生态修复工程研究中心、陕西芩塬生态中药材科技有限公司。

本文件主要起草人：高天鹏，杨建军，申圆圆，张九东，胡有宁，刘潇潇，程晨，李肖肖，桑宏斌，万学军，文李敏，尚宏儒，王彬蔚，鲍婧婷，高晓军。

本文件由西安文理学院负责解释。

本文件为首次发布。

联系信息：

单位：西安文理学院

地址：陕西省西安市科技六路1号

电话：029-88241902

邮编：710065

1. 引言

根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国土壤污染防治法》、《土壤污染防治行动计划》,为了控制秦岭南麓地区金属矿山土壤重金属污染，保护该地区土壤及水体质量良好，保障人体健康，维护生态平衡，促进陕西省秦岭地区国民经济和社会发展并保持可持续发展，特制定本技术规范。

本标准是在开展陕西省重点研发计划项目的基础上，并参照《南方有色金属矿区废弃地植被生态修复技术规程》（LY/T 2770-2016）﹑《铅、锌矿区重金属污染场地植物修复技术规程》（DB43/T 1249-2017）及《农用地土壤重金属污染修复技术规程》（DB13/T 2206-2020），针对秦岭南麓金属矿区土壤重金属污染状况，规定了秦岭南麓地区金属矿区土壤重金属修复技术的定义和术语、基本原则及工作程序，其中工作程序包括土壤污染状况调查、土壤污染现状监测﹑土壤污染指数计算﹑土壤污染等级和污染程度评判﹑修复目标确定﹑修复要求确认﹑修复模式选择﹑修复模式选择﹑修复技术筛选﹑修复方案分类﹑修复方案制定及修复效果评估等内容，从而最终控制秦岭南麓地区重金属污染，为秦岭南麓矿区土壤重金属污染的预警、修复提供技术指导，同时还能够防止重金属污染造成周围农作物的生物富集，进而减轻由于重金属污染对当地居民的生命安全的威胁。

秦岭南麓典型金属矿区土壤重灾区金属污染修复技术规程

* 1. 适用范围

本文件规定了秦岭南麓地区金属矿区土壤重金属修复技术的定义和术语、基本原则﹑工作程序等内容。本文件适用于秦岭南麓金属矿区土壤重金属修复技术方案的设计。

* 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 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB 25466 铅、锌工业污染物排放标准

GB 25467 铜、镍、钴工业污染物排放标准

GB 26451 稀土工业污染物排放标准

GB 28661 铁矿采选工业污染物排放标准

HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则

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 25.4 建设用地土壤修复技术导则

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 624 外来物种环境风险评估技术导则

HJ/T 166 土壤环境监测技术规范

HJ/T 415 环保用微生物菌剂环境安全评价导则

HJ/T 651 矿山生态环境保护与恢复治理技术规范

NY/T 395 农田土壤环境质量监测技术规范

NY/T 1261 农田污染区登记技术规范

NY/T 3343 农田污染治理效果评价准则

NY/T 3499 受污染耕地修复和管控导则

DB13/T 2206 农用地土壤重金属污染修复技术规程

DB44/T 2263 耕地土壤重金属污染风险管控与修复

* 1. 相关术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 秦岭南麓 Southern foot of Qinling Mountain

本规范系指位于秦岭山脉南侧一定区域范围且处于陕西安康﹑汉中及商洛等地市内的部分地区。

3.2 土壤重金属污染 Heavy metal pollution in soil

由于人类活动产生的重金属进入土壤，积累到一定程度，超过土壤本身的自净能力，导致土壤性状和质量变化，构成对人体和生态环境的负面影响和危害。

3.3 土壤环境背景值 Background value of soil environment

指未受或少受人类活动影响的土壤环境本身的化学元素组成及其含量。

3.4 重金属污染土壤修复 Remediation of heavy metal contaminated soil

指通过物理方法、化学方法、生物技术等多种措施对土壤中存在的重金属进行清除，或是将其固定在土壤中，限制其迁移活动，从而达到土壤修复的目的。

3.5 污染土壤修复标准 Standard for remediation of polluted soil

为恢复土壤的特定用途，对土壤中相关污染物或者化学品设立的数值上的限值。

3.6 排土场 Waste disposal site

指矿山剥离和掘进排弃物集中排放的场所，包括外排土场和内排土场，又称废石场、排岩场。

3.7 露天采场 Open pit

指由采矿活动在地表形成的“空场”或“空洞”，也称露天采空区。

3.8 尾矿库 Tailings pond

指由筑坝拦截谷口或围地构成的、用于贮存经选矿场选别后排出尾矿的场所。

3.9 矿山工业场地 Mining industry site

指为矿山生产系统和辅助生产系统服务的地面建筑物、构造物以及有关设施的场地。

3.10 污染场地 Contaminated sites

指因生产堆积、储存、处理、处置或其他方式(如迁移)承载了过量重金属的空间区域。

3.11 修复目标 Remediation goal

由环境调查和风险评估确定的目标污染物对人体健康和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。

3.12 修复模式 Remediation strategy

对污染区域进行修复的总体思路，包括原地修复﹑异地修复﹑异地处置﹑自然修复﹑污染阻隔﹑居民防护和制度控制等，又称修复策略。

* 1. 基本原则

4.1 科学性原则

综合考虑矿区土壤重金属的修复目标、修复时间、修复成本、环境影响等要素，制定科学修复方案。

4.2 分类修复原则

根据矿区土壤重金属污染指数对矿区土壤污染程度进行等级划分，从而制定不同等级对应下的矿区土壤重金属污染修复方案。

4.3 可行性原则

制定的矿区土壤重金属分类修复方案要合理可行，要合理选择土壤修复技术，同时兼顾经济可行﹑环境可容﹑目标可达。

4.4 安全性原则

要确保选择的土壤修复技术在前期调查﹑中期实施及后期恢复等阶段对技术人员﹑施工人员、周边人群的身体健康或生态环境不造成危害或影响。

* 1. 工作程序

矿区土壤重金属污染修复具体工作程序为：

5.1 土壤污染状况调查

5.1.1 制订调查计划

收集区域自然环境、社会环境状况、污染源分布状况﹑污染源排放情况以及土壤环境质量历史资料，分析土壤污染特征和污染过程，初步确定土壤污染状况调查范围，制订土壤污染状况调查计划。

5.1.2 现场踏勘和资料收集

5.1.2.1 核实矿区相关资料

核实矿区相关资料的完整性和有效性，重点核实矿区排污信息和资料是否能反映矿区目前实际情况。结合当地生态环境和自然资源等部门相关调查和监测结果，大致确定土壤重金属污染物的来源、种类、程度、范围和空间分布特征，从而获得重金属对土壤的污染概况。

5.1.2.2 现场调查矿区状况

调查矿区目前现状情况，特别关注与前期土壤污染状况调查和风险评估时发生的重大变化，以及周边环境保护敏感目标的变化情况。现场调查矿区修复工程施工条件，特别关注矿区用电、用水、施工道路、安全保卫等情况，为修复方案的实施提供基础信息。

5.1.2.3 补充相关技术资料

通过核查矿区已有资料和现场考察矿区状况，如发现不能满足修复方案编制基础信息要求，应当补充相关资料，具体可参照《土壤环境检测技术规范》（HJT 166-2004）中确定的资料收集内容。在必要时，还需开展补充性土壤污染状况调查和土壤环境监测。

5.2 土壤污染现状监测

5.2.1 土壤监测点位布设

5.2.1.1 对于土壤污染特征相近、土地使用功能相同的区域，可采用系统随机布点法进行监测点位的布设。系统随机布点法是将监测区域分成面积相等的若干地块，从中随机抽取一定数量的地块，在每个地块内布设一个监测点位。

5.2.1.2 如监测区域内土壤污染特征不明确或原始状况严重破坏，可采用系统布点法进行监测点位布设。系统随机布点法是将监测区域分成面积相等的若干地块，每个地块布设一个监测点位。

5.2.1.3 对于监测区域内土地使用功能不同及污染特征明显差异的污染土壤，可采用分区布点法进行监测点位的布设。分区布点法是将监测区域划分成不同小区，再根据小区面积或污染特征确定布点的方法。

5.2.1.4 土壤对照监测点位布设

5.2.1.4.1 一般情况下，应在修复区域外部设置土壤对照监测点位。

5.2.1.4.2 对照监测点位可选取在修复区域外部四个垂直轴向上，如有其他要求或采样条件受限，可根据实际情况进行调整。

5.2.1.4.3 对照监测点位应尽量选择在一定时间内未经外界扰动的土壤，应采集表层土壤样品，采样深度尽可能与修复区域表层土壤采样深度相同，如有必要也应采集深层土壤样品。

5.2.2土壤监测频次

结合修复方案及修复要求合理选择土壤监测频次。一般可在土壤污染调查阶段、土壤污染修复阶段和土壤污染修复工程竣工验收阶段安排矿区土壤重金属监测。

5.2.3 土壤样品采集

5.2.3.1 表层土壤样品采集

5.2.3.1.1 表层土壤样品的采集一般采用锹、铲等简单工具，也可进行钻孔取样。

5.2.3.1.2 在土壤采样时要尽量减少土壤扰动，保证土壤样品在采样过程不被二次污染。

5.2.3.2 深层土壤样品采集

5.2.3.2.1 深层土壤采集以钻孔取样为主。

5.2.3.2.2 钻孔取样可采用人工或机械钻孔后取样。手工钻探采样设备包括螺纹钻、管钻、管式采样器等。机械钻探包括实心螺旋钻、中空螺旋钻、套管钻等。

5.2.3.3 原位治理修复工程措施处理土壤样品的采集

对原位治理修复工程措施效果（如客土、隔离、防迁移扩散等）的监测采样，应根据工程设计提出的要求进行。

5.2.3.4 如需采集土壤混合样时，将等量各点采集的土壤样品充分混拌后四分法取得到土壤混合样。

5.2.4 土壤样品保存与流转

5.2.4.1 样品采集后用可密封的聚乙烯或玻璃容器在 4℃以下避光分类保存。具体保存条件和保存时间见表1。

**表1 土壤样品保存条件和保存时间**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测试项目 | 容器材质 | 温度（℃） | 可保存时间（d） |
| 重金属(汞和六价铬除外) | 聚乙烯、玻璃 | ＜4 | 180 |
| 汞 | 玻璃 | ＜4 | 28 |
| 砷 | 聚乙烯、玻璃 | ＜4 | 180 |
| 六价铬 | 聚乙烯、玻璃 | ＜4 | 1 |

5.2.4.2 避免运输保存过程中样品的损失、混淆和沾污，对光敏感的样品应有避光外包装，送至实验室后应尽快分析测试。

5.2.4.3 预留样品在样品库造册保存。

5.2.4.4 分析取用后的剩余样品，待测定全部完成数据报出后，也移交样品库保存。

5.2.4.5 分析取用后的剩余样品一般保留半年, 预留样品一般保留 2 年。

5.2.4.6 样品库要求保持干燥、通风、无阳光直射、无污染；要定期清理样品，防止霉变、鼠害及标签脱落。样品入库、领用和清理均需记录。

5.2.4.7 在采样现场样品必须逐件与样品登记表、样品标签和采样记录进行核对，核对无误后分类装箱。

5.2.4.8 运输过程中严防样品的损失、混淆和沾污。

5.2.4.9 样品交接由专人将土壤样品送到实验室，送样者和接样者双方同时清点核实样品，并在样品交接单上签字确认,样品交接单由双方各存一份备查。

5.2.5 土壤样品制备

**5.2.5**.1 制样工作室要求 分设风干室和磨样室。风干室朝南（严防阳光直射土样），通风良好，整洁，无尘，无易挥发性化学物质。

**5.2.5**.2 制样工具及容器

风干用白色搪瓷盘及木盘；

粗粉碎用木锤、木滚、木棒、有机玻璃棒、有机玻璃板、硬质木板、无色聚乙烯薄膜；

磨样用玛瑙研磨机（球磨机）或玛瑙研钵、白色瓷研钵；

过筛用尼龙筛，规格为 2～100 目；

装样用具塞磨口玻璃瓶，具塞无色聚乙烯塑料瓶或特制牛皮纸袋，规格视量而定。

**5.2.5**.3 制样程序

制样者与样品管理员同时核实清点，交接样品，在样品交接单上双方签字确认。

**5.2.5**.3.1 风干

在风干室将土样放置于风干盘中，摊成 2～3 cm 的薄层，适时地压碎、翻动，拣出碎石、砂砾、植物残体。

**5.2.5**.3.2 样品粗磨

在磨样室将风干的样品倒在有机玻璃板上，用木锤敲打，用木滚、木棒、有机玻璃棒再次压碎，拣出杂质，混匀，并用四分法取压碎样，过孔径 0.25mm(20 目)尼龙筛。过筛后的样品全部置无色聚乙烯薄膜上，并充分搅拌混匀，再采用四分法取其两份，一份交样品库存放，另一份作样品的细磨用。

**5.2.5**.3.3 细磨样品

将粗磨样品再研磨到全部过孔径 0.15mm（100 目）筛，用于土壤元素全量分析。

**5.2.5**.3.4 样品分装

研磨混匀后的样品，分别装于样品袋或样品瓶，填写土壤标签一式两份，瓶内或袋内一份，瓶外或袋外贴一份。

**5.2.5**.3.5 注意事项

制样过程中采样时的土壤标签与土壤始终放在一起，严禁混错，样品名称和编码始终不变；制样工具每处理一份样后擦抹（洗）干净，严防交叉污染。

5.2.6 土壤样品分析

土壤样品中主要重金属（8种）分析项目及分析方法按表2执行。

**表2 土壤样品中主要重金属（8种）分析项目及分析方法**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分析项目 | 分析仪器 | 分析方法 | 标准编号 |
| 镉 | 原子吸收光谱仪 | 石墨炉原子吸收分光光度法 | GB/T 17141-1997 |
| 原子吸收光谱仪 | KI-MIBK 萃取原子吸收分光光度法 | GB/T 17140-1997 |
| 汞 | 测汞仪 | 冷原子吸收法 | GB/T 17136-1997 |
| 砷 | 分光光度计 | 二乙基二硫代氨基甲酸银分光光度法 | GB/T 17134-1997 |
| 分光光度计 | 硼氢化钾-硝酸银分光光度法 | GB/T 17135-1997 |
| 铜 | 原子吸收光谱仪 | 火焰原子吸收分光光度法 | GB/T 17138-1997 |
| 铅 | 原子吸收光谱仪 | 石墨炉原子吸收分光光度法 | GB/T 17141-1997 |
| 原子吸收光谱仪 | KI-MIBK 萃取原子吸收分光光度法 | GB/T 17140-1997 |
| 铬 | 原子吸收光谱仪 | 火焰原子吸收分光光度法 | GB/T 17137-1997 |
| 锌 | 原子吸收光谱仪 | 火焰原子吸收分光光度法 | GB/T 17138-1997 |
| 镍 | 原子吸收光谱仪 | 火焰原子吸收分光光度法 | GB/T 17139-1997 |

5.3 土壤污染指数计算

根据土壤环境污染指标监测分析结果，计算土壤中主要重金属(8种)污染物的单因子污染指数、多因子综合污染指数﹑Hakanson潜在生态危害指数，从而对矿区土壤污染等级及污染程度进行综合评判。

5.3.1 单因子污染指数法

式中：

——土壤中污染物的环境质量指数；

——污染物的实测浓度值；

——污染物评价标准，=x+2s，其中：x为某污染物在当地的背景值；s为标准差。

5.3.2 多因子综合污染指数法

=

式中：

——土壤污染综合污染指数；

——单因子污染指数的最大值；

——单因子污染指数的平均值。

5.3.3 Hakanson潜在生态危害指数（RI）法

式中：

——某一点土壤多种重金属综合潜在生态危害指数；

——重金属毒性指数，见表3；

——表层土壤重金属元素的实测含量；

——该元素的评价标准值。（参照6.1.1.1中）

**表3 重金属毒性指数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 元素 | 锌 | 铬 | 铜 | 铅 | 镍 | 砷 | 镉 | 汞 |
| 毒性指数 | 1 | 2 | 5 | 5 | 5 | 10 | 30 | 40 |

5.4 土壤污染等级和污染程度评判

土壤污染等级及污染程度按表4进行评判。

**表4 土壤污染等级及污染程度评判**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 污染指数计算 | | | 土壤污染等级及污染程度 | | 备注 |
| 单因子指数法 | 多因子综合  指数法 | 潜在生态  危害指数法 | 污染等级 | 污染程度 | 评价方法中选择结果最高者进行污染等级和程度的划分 |
| ≤1 | ≤1 | ≤150 | 0级 | 无污染 |
| 1＜≤2 | 1＜≤2 | 150＜≤300 | 1 级 | 轻度污染 |
| 2＜≤3 | 2＜≤3 | 300＜≤600 | 2 级 | 中度污染 |
|  |  |  | 3 级 | 重度污染 |

5.5 修复目标确定

5.5.1 确认目标污染物

根据土壤重金属监测值分析结果及对生态环境影响程度，确认需要修复的重金属种类和优先顺序。

5.5.2 提出修复目标值

按照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019） 计算的土壤风险控制值、《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》(GB36600—2018) 规定的土壤污染风险筛选值和管制值、矿区所在区域土壤中目标污染物的背景含量以及国家和地方有关标准中规定的重金属限值，结合目标污染物形态与迁移转化规律，合理提出土壤目标污染物的修复目标值。

5.5.3 确认修复区域和要求

确认重金属污染区域环境调查风险评估提出的土壤修复区域，包括修复面积、四周边界、污染土层厚度、修复区域内种植耕作情况等。依据土壤目标污染物的修复目标值，分析和评估需要修复的土壤量。

5.6 修复要求确认

与修复对象利益相关方进行沟通，确认对土壤修复的要求，如修复时间、预期经费投入等。

5.7 修复模式选择

选择修复模式要根据土壤重金属污染程度等级、修复范围、修复目标及修复要求，因地制宜选择矿区土壤重金属污染修复模式。

5.7.1 农艺调控类修复技术

适用对象：适用于轻度污染区域。主要包括优化施肥、石灰调节、品种调整、水分调控和深翻耕等技术，其中石灰调节常适用于土壤pH值在6.5以下的土地。

5.7.2 土壤改良类修复技术

适用对象：适用于轻度、中度和重度污染区域。主要包括原位钝化技术、定向调控技术、客土法等，其中原位钝化技术和定向调控技术一般适用于轻、中度污染的土壤；客土法常适用于小面积中度污染土壤。

5.7.3 生物类修复技术

适用对象：一般适用于轻度和中度重金属污染的区域。主要包括微生物修复技术和植物提取技术，其中微生物修复技术适用于较大面积重金属污染地，植物提取技术一般适用于较小面积重金属污染地。

5.8 修复技术筛选

5.8.1 修复技术初筛

按照表5中土壤重金属污染程度及其对应修复技术，结合土壤特性、土壤污染特征、修复模式等，综合考察技术特点、目标污染物、修复效果、修复时间和修复成本等因素初步筛选修复技术。

**表5 土壤重金属污染修复技术**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 污染等级 | 污染程度 | 宜采用修复技术 |
| 0 级 | 无污染 | 预防为主保护措施 |
| 1级 | 轻度污染 | 农艺调控类修复技术、生物类修复技术、土壤改良类修复技术 |
| 2级 | 中度污染 | 土壤改良类修复技术、生物类修复技术、综合治理技术 |
| 3级 | 重度污染 | 土壤改良类修复技术、综合治理技术 |

5.8.2 修复技术可行性评估

5.8.2.1 实验室小试

可以采用实验室小试进行修复技术可行性评估。实验室小试要采集矿区污染土壤进行试验，应针对试验修复技术的关键环节和关键参数制定实验室试验方案。

5.8.2.2 现场中试

如对修复技术适用性不确定，应在修复现场开展中试，验证修复技术的实际效果，同时考虑工程管理和二次污染防范等因素。中试试验应兼顾修复现场不同区域、不同污染浓度和不同土壤类型，从而获得修复工程设计所需要参数。

5.8.2.3 应用案例分析

土壤修复技术可行性评估可以采用相同或类似修复技术的应用案例分析进行，必要时可现场考察和评估应用案例实际工程。

5.8.3 修复技术确定

在比较分析修复技术优缺点和技术可行性试验基础上，从成熟度、适用条件、修复效果、修复成本、修复时间和环境安全性等方面对各备选修复技术进行综合比较，最终选择确定修复技术。修复技术可以是一种修复技术，也可是多种修复技术的联合应用。

5.9 修复方案分类

以矿区土壤污染等级作为分类依据，对矿区重金属污染土壤进行分类，从而制定不同分类下的土壤污染修复方案。对应于土壤污染等级，土壤污染修复方案分为四类。其中，土壤污染等级为0级，可不用制定土壤污染修复方案；土壤污染等级为1级，制定轻度土壤污染修复方案；土壤污染等级为2级，制定中度土壤污染修复方案；土壤污染等级为3级，制定重度土壤污染修复方案。

5.10 修复方案制定

5.10.1 制定土壤修复技术路线

根据确定的土壤修复模式和土壤修复技术，制定土壤修复技术路线，可以采用单一修复技术制定，也可以采用多种修复技术进行优化组合集成。修复技术路线应反映重金属污染区域修复的总体思路﹑方法﹑方式、工艺流程和具体步骤。

5.10.2 确定土壤修复技术工艺参数

土壤修复技术工艺参数可通过实验室小试和/或现场中试获得，工艺参数包括修复材料投加量或比例、设备处理能力、处理所需时间、处理条件、能耗、处理面积等。

5.10.3 估算土壤修复工程量

根据技术路线，按照确定的单一修复技术或修复技术组合的方案，结合工艺流程和参数，估算每个修复方案的修复工程量。修复工程量可能涉及土壤处理和处置所需的工程量、现场中试的工程量、修复过程中产生的污染土壤或植物等的无害化处置的工程量，以及方案涉及的其它工程量。

5.10.4 修复方案比选及制定

从确定的单一修复技术及多种修复技术组合方案的主要技术指标、工程费用估算和二次污染防治措施等方面进行比选，最后确定最佳修复方案。

5.10.4.1 主要技术指标

结合土壤特征和修复目标，从法律法规、长短期修复效果、修复时间、修复成本﹑修复工程环境影响等方面比较不同修复方案主要技术指标的合理性。

5.10.4.2 修复工程费用

根据修复工程量，估算并比较不同修复方案所产生的修复费用，包括直接费用和间接费用。直接费用主要包括修复工程主体设备、材料、工程实施等费用，间接费用包括修复工程监测、工程监理、质量控制、健康安全防护和二次污染防范措施等费用。

5.10.5 修复工程环境监理计划

环境监理计划包括修复前、修复过程中和修复工程验收中的环境监测，二次污染监控，以及环保措施实行情况和修复目标完成情况。为确保修复过程中施工人员与周边居民的安全，需制定周密的污染地块修复工程应急安全计划，包括安全问题识别及相应的预防措施、突发事故的应急措施、配备安全防护设备和安全防护培训等。

5.10.6 修复工程环境影响分析

修复工程的开展，应分析修复活动对周边环境的影响。对于环境影响可能较大的修复工程项目，按相关规定进行环境影响评价。

5.11 修复效果评估

应委托具有环境损害评估相关资质的鉴定机构进行矿区土壤重金属污染修复效果评估工作，包括国务院环境资源保护监督管理相关主管部门推荐的机构。修复过程合规性，即修复方案实施过程是否满足相关标准规范要求，是否产生了二次污染或其他生态环境影响。

附 录 A

(资料性)

秦岭南麓典型金属矿区土壤重金属污染场地主要先锋灌草植物名录

| 分类 | 植物名称 | 科 | 拉丁学名 |
| --- | --- | --- | --- |
| 灌木 | 苘麻 | 锦葵科 | *Abutilon theophrasti*Medicus |
| 草本 | 莙荙菜 | 藜科 | *Beta vulgaris* var. *cicla* L. |
| 剪秋罗 | 石竹科 | *Lychnis fulgens*(Fisch.) E. H. L. Krause |
| 大火草 | 毛茛科亚科 | *Anemone tomentosa*（Maxim.) Pei |
| 小叶菝葜 | 百合科 | *Smilax microphylla* C. H. Wright |
| 牛蒡 | 菊科 | *Arctium lappa* L. |
| 三叶鬼针草 | 菊科 | *Bidens pilosa* L. |
| 小果博落回 | 罂粟科 | *Macleaya microcarpa* (Maxim.) Fedde |
| 掌叶大黄 | [蓼科](https://baike.so.com/doc/6036982-6249989.html) | *Rheum palmatum* L. |
| 苋 | 苋科 | *Amaranthus tricolor* L*.* |
| 黄背草 | 禾本科 | *Themeda triandra Forsk* |
| 车前 | 车前科 | *Plantago asiatica* L. |
| 曼陀罗 | 茄科 | *Datura stramonium* L. |
| 商陆 | [商陆科](https://baike.so.com/doc/6676191-6890055.html) | *Phytolacca acinosa* Roxb |
| 长叶天明精 | 菊科 | *Carpesium longifolium* Chen et C. M. Hu |
| 骆驼蓬 | [蒺藜科](https://baike.so.com/doc/7574684-7848778.html) | *Peganum harmala* L. |
| 盐生草 | [藜科](https://baike.so.com/doc/6102814-6315925.html) | *Halogeton glomeratus* (Bieb.) C. A. Mey. |
| 中亚紫苑木 | 菊科 | *Asterothamnus centrali-asiaticus* |
| 猪毛菜 | 藜科 | *Kali collinum* (Pall.) Akhani & Roalson |
| 碱蓬 | 藜科 | *Suaeda glauca*(Bunge) Bunge |
| 四翅滨藜 | 藜科 | *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. |
| 滨藜 | 苋科 | *Atriplex patens*(Litv.) Iljin |
| 地肤 | 藜科 | *Kochia scoparia* (L.) A.J.Scott |
| 紫花苜蓿 | 豆科 | *Medicago sativa* L. |
| 沙蒿 | 菊科 | *Artemisia desertorum*Spreng |

附 录 B

(资料性)

秦岭南麓典型金属矿区土壤重金属污染场地重金属耐受性菌种资源

| 分类 | 名称 | 英文名称 | 备注 |
| --- | --- | --- | --- |
| 细菌 | 硫酸盐还原菌 | *Archaeoglobus veneficus* | 脱硫细菌，钝化重金属菌种 |
| 假单胞菌 | *Pseudomonas plecoglossicida 7* | 钝化重金属镉菌种 |
| 真菌 | 黑曲霉 | *Aspergillus niger* | 产酸菌，可做淋洗重金属菌种 |
| [烟曲霉](https://baike.so.com/doc/4750824-4966164.html) | *Aspergillus fumigatus* | 产酸菌，可做淋洗重金属菌种 |
| 产黄青霉 | *Penicillium chrysogenum* | 产酸菌，可做淋洗重金属菌种 |
| 栎生青霉 | *Penicillium glandicola* | 产酸菌，可做淋洗重金属菌种 |
| [小克银汉霉菌](https://www.so.com/link?m=uJejsKx2Cmms1R7avn+vQWyhV9VF+Bg0t2UAhlTKlFBLW2Dwywq8vJz7pdYBGSgoOu3jXAEzQcZ1m9pqP3fOn6m24I7QW7JyEJNwUMU8cosLrrY34oJuhvbSx8r+fzNY1uegEax/7n/r5oGN2w0zwQciEHoJPrgcWLiPZDA==)属 | *Cunninghamella sp.* | 产酸菌，可做淋洗重金属菌种 |