

铅锌矿采选行业地块土壤污染风险管控和 修复效果评估技术规范

Technical specification on verification of risk control and remediation
of soil contamination in lead-zinc mining and dressing industry

2021 - 12 - 20 发布

2022 - 01 - 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
4 基本原则、工作内容与工作程序	3
4.1 基本原则	3
4.2 工作内容	3
4.3 工作程序	3
5 更新地块概念模型	5
5.1 总体要求	5
5.2 资料回顾	5
5.3 现场踏勘	6
5.4 人员访谈	6
5.5 更新地块概念模型	6
6 布点采样与实验室检测	7
6.1 土壤污染修复效果评估布点	7
6.2 地下水污染修复效果评估布点	9
6.3 土壤污染风险管控效果评估布点	11
6.4 新建固体废物填埋场区域布点	11
6.5 现场采样与实验室检测	12
7 效果评估	13
7.1 土壤污染修复效果评估	13
7.2 地下水污染修复的效果评估	14
7.3 土壤污染风险管控效果评估	15
8 后期环境监管建议	15
8.1 后期环境监管要求	15
8.2 长期环境监测	15
8.3 制度控制	16
9 编制效果评估报告	16
9.1 效果评估报告主要内容	16
9.2 效果评估报告提纲	16
附录 A（资料性） 地块概念模型涉及信息及其作用	17
附录 B（资料性） 效果评估报告提纲	18

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。

本文件由广西壮族自治区生态环境厅提出、归口并宣贯。

本文件起草单位：广西壮族自治区环境保护科学研究院。

本文件主要起草人：罗栋源、黄艳红、吴昊、刘楠楠、卢然、唐焰、林星杰、金晓丹、高何凤、陈何潇、狄瑜、李杨、杜军艳、林秋莲、杨子杰、卢玉秋、甘洋洋、吴海霞、陈茜茜、方晴、周浪、吴锡松、黄山松。

铅锌矿采选行业地块土壤污染风险管控和修复效果评估技术规范

1 范围

本文件规定了广西铅锌矿采选行业地块土壤污染风险管控和修复效果评估的基本原则、内容、程序和技术要求。

本文件适用于广西铅锌矿采选行业地块土壤污染风险管控和修复效果评估,包括对地块实施土壤以及地下水污染风险管控、修复的效果评估。

本文件不适用于含有放射性物质和致病性生物污染地块风险管控和修复效果评估,不适用于尾矿库闭库和土地复垦。

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 14848 地下水质量标准
- GB 25466 铅、锌工业污染物排放标准
- GB 34330 固体废物鉴别标准 通则
- GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)
- HJ/T 20 工业固体废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 25.2 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
- HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则
- 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(试行)
- HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则
- HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范
- HJ 91.1 污水监测技术规范
- HJ 164 地下水环境监测技术规范
- HJ/T 166 土壤环境监测技术规范
- HJ 298 危险废物鉴别技术规范
- HJ 493 水质 样品的保存和管理技术规定
- HJ 651 矿山生态环境保护与恢复治理技术规范(试行)
- HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

铅锌矿采选 lead-zinc mining and dressing

在铅矿山、锌矿山及以铅矿、锌矿为主要产品的多金属矿山采用露天开采或地下开采铅锌矿石、铅矿石、锌矿石，采用浮选、重选及其联合工艺选别，获取铅精矿、锌精矿、铅锌混合精矿的过程。

3.2

受污染地块 contaminated land

从事过铅锌矿采（3.1）选活动的用地，经土壤污染状况调查和风险评估后，确认污染危害超过人体健康或生态环境可接受风险水平的地块。

3.3

土壤污染风险管控 risk control of soil contamination

根据风险评估结果确定以阻止污染扩散风险为目的，通过采取修复技术、工程控制以及制度控制等措施，阻断土壤及地下水污染物暴露或扩散途径，使受污染地块（3.2）的污染风险得到有效控制，防止对周边人体健康和生态受体产生影响的相关活动。

3.4

土壤污染修复 remediation of soil contamination

根据风险评估结果确定以移除污染源（或去除污染物）至人体健康和生态受体风险可接受水平为目的，通过采用物理、化学或生物的方法，做到消除、降低、稳定、吸附、转移或阻隔地块土壤及地下水中的污染物，将有毒有害的污染物转化为无害物质或降低到可接受水平，使受污染地块（3.2）满足相应的土壤环境质量及地下水环境功能或使用功能的相关活动。

3.5

环境背景值 environmental background values

指基于环境背景含量的统计值。通常以环境背景含量的某一分位值表示。其中，环境背景含量是指在一定时间条件下，仅受地球化学过程和非点源输入影响的土壤中元素或化合物的含量。

3.6

目标污染物 target contaminant

通过对受污染地块（3.2）进行土壤污染状况调查和风险评估确定的，在地块环境中其数量或浓度已达到对人体健康和环境具有实际或潜在不利影响的，需要实施土壤污染风险管控（3.3）、土壤污染修复（3.4）的污染物。本文件的目标污染物主要包括铅、锌及镉、砷、汞、铜、镉、锡、铊等伴生特征污染物，具体特征污染物根据调查和风险评估结果确定。

3.7

风险管控目标 risk control objective

通过实施土壤污染风险管控（3.4），阻断目标污染物（3.6）的暴露途径或阻止其扩散，防止对人体健康和生态受体产生影响的阶段目标。

3.8

修复目标 target for remediation

通过实施土壤污染修复，使目标污染物（3.6）对人体健康和环境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。

3.9

修复极限 remediation asymptotic condition

修复工程进入拖尾期后，在现有的技术水平、合理的时间和资金投入条件下，继续进行修复仍难以达到修复目标的情况。

3.10

评估标准 assessment criteria

评估地块是否达到环境和人体健康安全的标准或准则，本文件所指评估标准包括目标污染物含量（浓度）达到修复目标、二次污染物不产生风险、工程性能指标达到规定要求等准则。

3.11

效果评估 verification of risk control and remediation

通过资料回顾与现场踏勘、布点采样与实验室检测，综合评估地块实施土壤污染风险管控（3.3）、土壤污染修复（3.4）工作的效果是否达到规定要求或地块风险是否达到可接受水平。

3.12

地块概念模型 conceptual site model

用文字、图、表等方式来综合描述污染源、污染物迁移途径、人体或生态受体接触污染介质的过程和接触方式等。

4 基本原则、工作内容与工作程序

4.1 基本原则

4.1.1 铅锌矿采选行业地块土壤污染风险管控和修复效果评估，应对土壤或地下水是否达到修复目标、风险管控是否达到规定要求、地块风险是否达到可接受水平等情况进行科学、系统地评估，提出后期环境监管建议，为铅锌矿采选行业受污染地块环境管理提供科学依据。

4.1.2 根据风险管控、修复的措施、技术选择的不同，部分评估工作可结合实际在实施土壤污染风险管控、土壤污染修复活动期间同步开展。

4.2 工作内容

铅锌矿采选行业地块土壤污染风险管控和修复效果评估的工作内容包括：更新地块概念模型，布点采样与实验室检测，风险管控、修复效果评估，提出后期环境监管建议，编制效果评估报告。

4.3 工作程序

4.3.1 更新地块概念模型

4.3.1.1 效果评估机构应基于资料回顾、现场踏勘和人员访谈等工作，编制效果评估工作方案。工作方案包括但不限于：评估工作依据的法律法规、政策、标准规范等，评估工作的总体流程，评估范围和工作内容，评估所采用的方法，评估工作具体计划，评估工作的组织实施与进度安排，评估费用预算情况等内容。原则上工作方案应在土壤污染风险管控或土壤污染修复实施方案编制阶段同步开展。效果评估范围主要为受污染地块实施风险管控或者修复工程的区域及其过程中潜在二次污染区域。

4.3.1.2 根据土壤污染风险管控或土壤污染修复进度，以及掌握的地块信息对地块概念模型进行实时更新，为制定效果评估布点采样方案提供依据。

4.3.2 布点采样与实验室检测

4.3.2.1 布点方案包括但不限于：效果评估的对象和范围、采样节点、采样周期和频次、布点数量和位置、检测指标、评估标准等内容，并说明上述内容确定的依据。原则上应在土壤污染风险管控或土壤污染修复实施方案编制阶段同步编制效果评估初步布点方案，并在效果评估工作开展之前，根据更新后的地块概念模型进行优化和更新。

4.3.2.2 根据布点方案，制定采样计划，确定检测指标和实验室分析方法，开展现场采样与实验室检测，明确现场采样、样品保存与流转和实验室检测质量保证与质量控制要求。

4.3.3 开展效果评估

4.3.3.1 根据检测结果，评估土壤污染修复效果是否达到修复目标或可接受水平，土壤污染风险管控是否达到评估标准规定要求。

4.3.3.2 对于土壤污染修复效果，可采用逐一对比和统计分析的方法进行评估，若达到修复效果，则根据情况提出后期环境监管建议并编制修复效果评估报告；若未达到修复效果，则应当提出补充修复的建议。对于地下水污染修复效果，原则上每口监测井中检测指标持续稳定达到修复目标时，可判断达到修复效果；若未达到修复目标但判断地下水已达到修复极限，可在实施风险管控措施的前提下，对残留污染物进行风险评估。若地块残留污染物对受体和环境的风险可接受，则认为达到修复效果；若风险不可接受，应当提出优化风险管控措施的建议。

4.3.3.3 对于土壤污染风险管控效果，若工程性能指标和污染物指标均达到评估标准，则判断风险管控达到预期效果，可对风险管控措施继续开展运行与维护；若工程性能指标或污染物指标未达到评估标准，则判断风险管控未达到预期效果，应对风险管控措施进行优化或提出调整措施建议。

4.3.4 提出后期环境监管建议

根据土壤污染风险管控、土壤污染修复工程实施情况和效果评估结论，提出后期环境监管建议。

4.3.5 编制效果评估报告

汇总前述工作内容，编制效果评估报告，报告应包括实施土壤污染风险管控、土壤污染修复的工程概况、环境保护措施落实情况、效果评估布点与采样、检测结果及分析、效果评估结论及后期环境监管建议等内容。效果评估工作程序见图1。

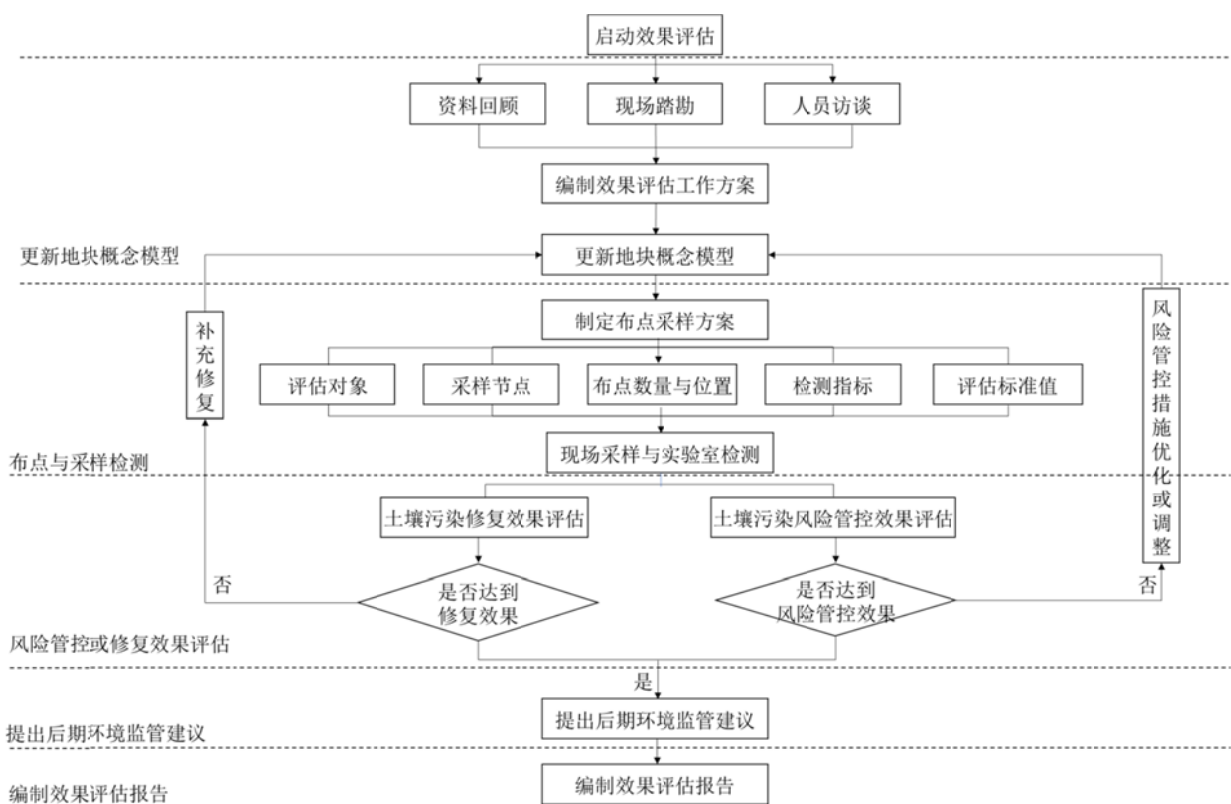


图1 效果评估工作程序

5 更新地块概念模型

5.1 总体要求

效果评估机构应收集受污染地块实施土壤污染风险管控、土壤污染修复工作的相关资料，开展现场踏勘，通过与地块污染治理责任人、施工负责人、监理人员进行访谈沟通。了解地块调查评估结论、风险管控与修复工程实施情况、环境保护措施落实情况等，掌握地块水文地质条件、污染物空间分布、污染土壤去向、受体与周边环境情况、风险管控与修复设施设置、风险管控与修复过程监测数据等关键信息，重点关注地下水污染羽的变化，更新地块概念模型。

5.2 资料回顾

5.2.1 资料回顾清单

5.2.1.1 在效果评估工作开展之前，应收集受污染地块实施土壤污染风险管控、土壤污染修复工作的相关资料。

5.2.1.2 资料清单主要包括：地块环境调查报告、水文地质资料、风险评估报告、土壤污染风险管控或土壤污染修复实施方案、工程设计资料、施工组织设计资料、施工进度计划、施工与运行过程检测数据、监理报告和相关资料、工程竣工报告、实施方案变更协议、运输与接收的协议和记录、施工管理文件等。除以上资料外，应收集相关合同协议（委托处理受污染地块的相关文件和合同）；其他文件和图件（地块用地规划、地块所在地环境功能区划、相关生态环境保护规划和行政规范性文件等）；工程实

施消耗的化学品记录、能耗记录、机械设备、人员劳务等涉及工程实施成本消耗的信息资料；地块风险管控期的规章制度、技术标准、采样方案和计划、现场记录等资料。

5.2.2 资料回顾要点

5.2.2.1 资料回顾要点主要包括：实施土壤污染风险管控、土壤污染修复的工程概况以及环境保护措施落实情况。

5.2.2.2 工程概况回顾，主要通过对实施方案以及风险管控或修复过程中的其他文件的分析，了解风险管控或修复范围、目标、工程设计、工程施工、起始时间、运输记录、运行监测数据等，核实风险管控或修复工程实施的实际情况。

5.2.2.3 环境保护措施落实情况回顾，主要通过对土壤污染风险管控、土壤污染修复过程中二次污染防治相关数据、资料和报告的梳理，分析可能造成的二次污染情况等。

5.3 现场踏勘

5.3.1 效果评估机构为考察地块现状，应开展现场踏勘工作。

5.3.2 了解受污染地块实施土壤污染风险管控、土壤污染修复的工程情况、环境保护措施落实情况，包括风险管控或修复设施运行情况、工程施工进度、基坑清理情况、污染土暂存和外运情况、现场遗留污染情况、地块内临时道路使用情况、工程施工管理情况、风险管控或修复期间地块及周边环境风险受体的变化情况等。

5.3.3 受污染地块的现场踏勘应当重点关注原矿堆场、精矿堆场和废石场（排土场）等淋溶水的收集处置。涉及尾矿库污染风险管控的，还应当涵盖渗滤液收集、污染治理和环境应急设施运行、污染物排放调查和周边环境风险受体分布情况等。涉及采矿窿口污染风险管控的，还应当考察矿井涌水去向。调查人员可根据实际情况需要，参照 HJ 25.1 规定的程序和技术要求，开展现场踏勘，通过照片、视频、录音、文字等方式，记录现场踏勘情况。

5.4 人员访谈

5.4.1 在开展效果评估工作中应当通过开展人员访谈工作，对资料收集和现场踏勘所涉及的疑问，以及受污染地块开展土壤污染风险管控、土壤污染修复的工程情况、环境保护措施落实情况进行全面了解。

5.4.2 访谈对象为受污染地块现状或历史的知情人，应包括：地块污染治理责任单位、行政主管部门人员、调查评估单位、实施方案编制单位、监理单位、施工单位等参与人员。原则上应当采取当面交流和书面调查表等方式为主，以电话交流和电子调查等方式为辅进行。访谈结束后，应对访谈内容进行核实整理和签名留档，并对照已有资料，对其中可疑处和不完善处进行核实和补充，作为报告附件。

5.5 更新地块概念模型

5.5.1 在资料回顾、现场踏勘和人员访谈的基础上，掌握受污染地块实施土壤污染风险管控、土壤污染修复工程情况，结合地块水文地质条件、污染物空间分布、技术特点、设施布局等，对地块概念模型进行更新，完善地块实施土壤污染风险管控或土壤污染修复实施后的概念模型。

5.5.2 地块概念模型一般包括下列信息：

- a) 开展土壤污染风险管控或土壤污染修复概况：工程起始时间、范围、目标、设施设计参数、实施过程运行监测数据、技术调整和运行优化、修复过程中废水和废气排放数据、药剂添加量等情况；

- b) 关注污染物情况：目标污染物原始浓度、运行过程中目标污染物浓度的变化、潜在二次污染物和中间产物产生情况、异位修复地块污染源清挖和运输情况、修复技术去除率、目标污染物空间分布特征的变化以及潜在二次污染区域等情况；
 - c) 水文地质情况：关注地块所在区域水文地质条件，以及风险管控或修复设施运行前后水文地质条件的变化、土壤理化性质变化等，运行过程是否存在优先流路径等；
 - d) 潜在受体与周边环境情况：结合地块规划用途和建筑设计资料，分析实施土壤污染风险管控或土壤污染修复工程结束后污染介质与受体的相对位置关系、受体的关键暴露途径等。
- 5.5.3 地块概念模型可用文字、图、表等方式表达，作为确定效果评估范围、采样节点、布点位置等的依据。

5.5.4 地块概念模型涉及信息及其作用见附录 A。

6 布点采样与实验室检测

6.1 土壤污染修复效果评估布点

6.1.1 基坑清理效果评估布点

6.1.1.1 评估对象

指受污染地块开展土壤污染修复实施方案中确定的基坑。

6.1.1.2 采样节点

6.1.1.2.1 污染土壤清理后遗留的基坑底部与侧壁，应在基坑清理之后、回填之前进行采样。

6.1.1.2.2 若基坑侧壁采用基础围护，则宜在基坑清理同时进行基坑侧壁采样，或于基础围护实施后在围护设施外边缘采样。

6.1.1.2.3 可根据工程进度对基坑进行分批次采样。

6.1.1.3 布点数量与位置

6.1.1.3.1 基坑底部和侧壁布点数量与布点位置原则上以 HJ 25.5 为依据。

6.1.1.3.2 结合地块资料和工程实施情况，对于铅锌矿区非作业面机械扰动相对小区域、废石或尾矿等固体废物堆存区等土壤分布较少区域的基坑，原则上基坑面积超出 12 500 m² 的，坑底采样点数量至少为 8 个，侧壁采样点数量至少为 10 个；基坑面积每增加 2 500 m²，采样点数量在此基础上增加 1 个。

6.1.2 土壤异位修复效果评估布点

6.1.2.1 评估对象

指异位修复后的土壤堆体。

6.1.2.2 采样节点

6.1.2.2.1 时间节点：异位修复后的土壤应在修复完成后、再利用之前采样。

6.1.2.2.2 空间节点：按照堆体模式进行异位修复的土壤，宜在堆体转移之前进行采样。

6.1.2.2.3 异位修复后的土壤堆体，原则上根据修复进度进行分批次采样；对于在本文件实施前已竣工的土壤污染修复工程，可引用符合规范要求的环境监理相关监测结果。

6.1.2.3 布点数量与位置

6.1.2.3.1 选矿厂受污染地块修复后土壤布点数量与位置原则上以 HJ 25.5 为依据。原矿堆场、精矿堆场和工业固体废物贮存处置场等修复后土壤原则上采样数量不应小于 7 个。

6.1.2.3.2 对于按批次处理的修复技术，在符合前述要求的同时，每批次至少采集 1 个样品。

6.1.2.3.3 对于按照堆体模式处理的修复技术，若在堆体转移前采样，在符合前述要求的同时，应结合堆体形状建立三维网格，依选矿厂受污染地块土壤堆体大小设置采样点，原则上以 HJ 25.5 为依据。原矿堆场、精矿堆场和工业固体废物贮存处置场等修复后土壤原则上采样数量不应小于 7 个。

6.1.2.3.4 修复后土壤一般采用系统布点法设置采样点；同时应考虑修复效果空间差异，在污染严重和修复效果薄弱区增设采样点。重金属可在采样单元内采集混合样，采样方法参照 HJ 25.2 执行。

6.1.2.3.5 修复后土壤堆体的高度应便于效果评估采样工作的开展。

6.1.3 土壤原位修复效果评估布点

6.1.3.1 评估对象

指原位修复后的土壤。

6.1.3.2 采样节点

6.1.3.2.1 原位修复后的土壤应在修复完成后进行采样。

6.1.3.2.2 原位修复的土壤可按照修复进度、修复设施设置等情况分区域采样。

6.1.3.3 布点数量与位置

6.1.3.3.1 原位修复后的土壤水平方向上采用系统布点法，原则上以 HJ 25.5 为依据。采样点的位置可依据土壤异常气味和颜色，并结合地块污染状况确定：

- a) 结合地块资料和工程实施情况，对于原位修复面积超出 12 500 m² 的铅锌矿区非作业面机械扰动相对小区域、废石或尾矿等固体废物堆存区等土壤分布较少的区域等应实施功能分区，原则上采样点数量至少为 8 个；面积每增加 2 500 m²，采样点数量在此基础上增加 1 个；
- b) 工业固体废物贮存处置场应关注占地范围外潜在二次污染影响区域，涉及大气沉降影响的，应至少在占地范围外主导风向的上、下风向分别设置 1、2 个监测点；涉及入渗和地面漫流途径影响的，应结合地形地貌，至少在占地范围外上、下游分别设置 1、2 个监测点。

6.1.3.3.2 原位修复后的土壤垂直方向上采样深度应不小于调查评估确定的污染深度以及修复可能造成污染物迁移的深度，根据土层性质设置采样点，原则上垂向采样点之间距离不大于 3 m，具体情况确定：

- a) 结合地块资料和工程实施情况，铅锌矿区非作业面机械扰动相对小区域、废石或尾矿等固体废物堆存区等土壤分布较少的区域，或钻探机械设备无法操作区域，在去除表层杂质干扰后，可采集 0 cm~20 cm 的表层土壤样品为主；
- b) 选矿厂磨浮生产车间、废水处理站、采矿窿口、原矿堆场、精矿堆场、工业固体废物贮存处置场区域取样深度根据其可能影响的情况确定，增加样品采集深度至无污染层。

6.1.3.3.3 应结合地块污染分布、土壤性质、修复设施设置等，在高浓度污染物聚集区、修复效果薄弱区、修复范围边界处等位置增设采样点。

6.1.3.3.4 对于原位化学氧化、原位电动修复等介入性原位修复技术，采样数量不应少于上述采样布点要求的数量，评估单位还应根据修复技术介入方法、影响半径等技术因素结合现场实施情况，适当增

加采样点位数量。

6.1.4 原固体废物堆存区域修复后布点

6.1.4.1 评估对象

采矿窿口、原矿和精矿堆存区、工业固体废物贮存处置场、废矿物油与含矿物油废物暂存或曾发生泄漏区域，或残余固体废物和具有固体废物污染特征的土壤。

6.1.4.2 采样节点

6.1.4.2.1 可在修复完成后进行采样，残余固体废物和具有固体废物污染特征的土壤清理效果的监测结果可作为修复效果评估结果的组成部分。

6.1.4.2.2 修复的土壤可按照修复进度、修复设施设置等情况分区域采样。对于占地范围内采用集中清理异位处置方式的，应重点关注残余固体废物（或矿石）和受污染土壤情况。对于后续采取阻隔措施区域的检测，应包括实际是否达到控制目标所需厚度和覆盖层的性能监测。

6.1.4.3 布点数量与位置

根据界面的特征和大小将其分成若干工作单元，对于每个工作单元，表层土壤和下层土壤垂直方向层次的划分应综合考虑污染物迁移情况、构筑物及管线破损情况、土壤特征等因素确定，修复后土壤原则上采样数量不应小于7个。重金属可在采样单元内采集混合样，采样方法参照HJ 25.2执行。

6.1.5 土壤污染修复二次污染区域布点

6.1.5.1 评估范围

指土壤污染修复过程中的潜在二次污染区域，包括污染土壤暂存区、修复设施所在区、固体废物堆存区、运输车辆临时道路、土壤或地下水待检区、废水暂存处理区、修复过程中污染物迁移涉及的区域、其他可能的二次污染区域。

6.1.5.2 采样节点

6.1.5.2.1 潜在二次污染区域土壤应在此区域开发使用之前进行采样。

6.1.5.2.2 可根据工程进度对潜在二次污染区域进行分批次采样。

6.1.5.3 布点数量与位置

6.1.5.3.1 潜在二次污染区域土壤原则上根据修复设施设置、潜在二次污染源等资料判断布点，也可采用系统布点法设置采样点，原则上以HJ 25.5为依据。对于废石、尾矿等固体废物堆存区等应重点关注其下游潜在二次污染影响区域土壤和地下水等。

6.1.5.3.2 潜在二次污染区域样品以去除杂质后的土壤表层样为主（0 cm~20 cm），不排除深层采样。

6.2 地下水污染修复效果评估布点

6.2.1 评估范围

包括地下水污染修复范围的上游、内部和下游，以及修复可能涉及的二次污染区域。

6.2.2 采样节点

采样节点以HJ 25.6为依据。应初步判断地下水中污染物浓度稳定达标且地下水流场达到稳定状态时，方可进入地下水污染修复效果评估阶段。

6.2.3 采样持续时间和频次

6.2.3.1 地下水污染修复效果评估采样频次应根据地块水文地质条件、地下水修复方式确定，如水力梯度、渗透系数、季节变化和其他因素等。

6.2.3.2 修复效果评估阶段应至少采集 8 个批次的样品，采样持续时间至少为 1 年。

6.2.3.3 原则上应涵盖丰水期、平水期和枯水期，采样频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得少于 1 个月。对于地下水流场变化较大的地块，可适当提高采样频次。

6.2.4 布点数量与位置

6.2.4.1 根据地块水文地质条件、地下构筑物情况、地下水污染特征和采用的修复技术，进行修复效果评估监测井的布点，包括对照井、内部监测井和控制井。可充分利用地块环境调查、工程运行阶段设置的监测井，现有监测井位置、数量应满足污染羽特征刻画、工程运行状况分析的监测要求，应符合地下水污染修复效果评估采样条件。

6.2.4.2 选矿厂受污染地块布点数量与位置依据 HJ 25.6 执行。

6.2.4.3 采矿窿口、原矿堆场、精矿堆场、工业固体废物贮存处置场等应结合整体和区域工程实际情况，原则下游控制井应设置 1~2 个。可依据地块地形地貌特征设置对照井（或上游地下水出露点）和侧向监测井。在包气带厚度超过 30 m 的评价区或监测井较难布置的基岩山区，地下水水质监测点数无法满足要求时，可视情况调整数量，并说明调整理由。

6.2.4.4 地下水采样点应优先设置在修复设施运行薄弱区、水文地质条件不利区域等。

6.2.4.5 对于矿区受污染地块集中区域，结合水文地质单元和地块分布特征，上游地下水监测井条件具备时可共用。

6.2.5 修复效果评估其他环境介质的布点

6.2.5.1 布点原则

基于更新地块概念模型，按照污染分布、土壤性质、修复进度、修复设施设置等情况分区域采样，应结合地块环境调查、工程运行阶段布点等，在高浓度污染物聚集区、修复效果薄弱区、修复范围边界处等位置增设采样点。

6.2.5.2 修复效果评估地表水布点

考察地块的地表径流对修复后地表水的影响时，可分别在降雨期和非降雨期进行采样。在监测污染物浓度的同时，应监测地表水的径流量，以判定污染物向地表水的迁移量。具体监测点位布点要求参照 HJ/T 91，应能反映背景断面、控制断面的水环境质量状况。各断面的具体位置应能反映所在区域环境的污染特征；尽可能以最少的断面获取有代表性的环境信息；同时还应考虑实际采样时的可行性和方便性。

6.2.5.3 修复效果评估地块残余工业固体废物布点

对地块内的残余工业固体废物按照HJ 298相关要求要求进行布点采样，原则上每类固体废物的采样份数不少于5个。

6.2.5.4 修复效果评估地块残余废水布点

对采矿窿口、原矿堆场、精矿堆场、工业固体废物贮存处置场等修复后仍产生淋溶水（渗滤液）的情景，应采集废水或结合废水去向按照HJ 91.1相关要求要求进行布点采样。

6.3 土壤污染风险管控效果评估布点

土壤污染风险管控包括固化/稳定化、封顶、阻隔填埋、地下水阻隔墙、可渗透反应墙等措施。

6.3.1 评估对象

评估范围内的土壤、地下水等，包括离场、暂存、处置的土壤、地下水等环境介质。工程性能指标评估以工程竣工验收结论为主。

6.3.2 采样周期和频次

6.3.2.1 风险管控效果评估的目的是评估工程措施是否有效，一般在工程设施完工1年内开展。

6.3.2.2 工程性能指标应按照工程实施评估周期和频次进行评估。

6.3.2.3 污染物指标应采集4个批次的的数据，原则上采样频次为每季度一次，两个批次之间间隔不得小于1个月。可根据目标污染物毒性、受污染地块风险等级、周边环境受体分布、定期监测结果等因素综合考虑，适当增加定期监测的频次。对于地下水水流场变化较大的地块，可适当提高采样频次。

6.3.3 布点数量与位置

6.3.3.1 需结合土壤污染风险管控措施的布置，结合地块污染特征、地块土层分布、污染物迁移特征、不同风险管控措施的潜在薄弱点等因素，制定效果评估检测方案。

6.3.3.2 在实施土壤污染风险管控范围上游、内部、下游，以及可能涉及的潜在二次污染区域设置地下水监测井：

- a) 尾矿库利用配套抽提井监测水质时，可利用并结合废水处理站或最终处置去向规范采样；
- b) 对于采取阻隔措施的风险管控项目，在阻隔墙上游和下游分别设置至少2口监测井，及时监测阻隔墙的阻隔效果；在关注受体周边布设监测井，监测地下水浓度是否保持持续下降，同时也侧面反映阻隔墙的隔离效果。

6.3.3.3 可充分利用地块调查评估、工程运行等阶段设置的监测井，现有监测井应符合效果评估采样条件。

6.4 新建固体废物填埋场区域布点

6.4.1 评估对象

实施方案中确定的新建固体废物填埋场，重点评估其污染控制情况。

6.4.2 资料回顾和现场踏勘

开展资料回顾，重点分析实施方案、工程设计资料、施工组织设计资料、施工与运行过程监测数据、监理报告和相关资料、工程竣工验收报告、实施方案变更协议、运输与接收的协议和记录、施工管理文件等。现场踏勘填埋场的重点区域，判断环境监理和工程资料的相符性，审核隐蔽工程实施资料。依据

相应污染控制标准和技术规范要求，综合评估是否满足环境污染防治标准，资料主要包括但不限于以下内容：

- a) 场址选择、勘察、征地、设计、施工、验收资料；
- b) 废物的来源、种类、污染特性、数量、贮存或填埋位置等资料；
- c) 各种污染防治设施的检查维护资料；
- d) 渗滤液、工艺水总量以及渗滤液、工艺水处理设备工艺参数及处理效果记录资料；
- e) 环境监测及应急处置资料。

6.4.3 采样节点

6.4.3.1 为综合判断新建填埋场的污染控制效果，应在新建填埋场开工建设之前、固体废物填埋之后分别进行采样。

6.4.3.2 可根据工程进度进行分批次采样。

6.4.4 布点数量与位置

6.4.4.1 土壤采样点对实施工程前后周边土壤环境质量检测同点位判断潜在二次污染情况，采样点数量见表1。样品以去除杂质后的土壤表层样为主（0 cm~20 cm），不排除垂向分层采样，应考虑地块土层性质与污染垂向分布特征，在污染物易富集位置设置采样点，采样的第一层为表层样（0 cm~20 cm），其下则每隔一定距离进行分层，分层的距离不小于1 m且不大于3 m。具体采样点的位置应结合地块地层特征、土壤异常气味和颜色等情况，根据实际情况确定。

表1 新建固体废物填埋场土壤最少采样点数量

新建固体废物填埋场面积/m ²	上游采样点数量/个	下游采样点数量/个	主导风向向下风向采样点数量/个
<2000	1	1	1
2000~5000	1	2	2
5000~10000	2	3	2

6.4.4.2 地下水采样点对实施工程前后周边地下水环境质量检测同点位判断潜在二次污染情况，应开展至少1年的季度监测，并对下游环境敏感点开展长期跟踪监测。评估实施方案设置跟踪监测井的合理性，对于工程实施阶段，监测井建设不规范的情景，应由相关责任单位限期完成整改。

6.5 现场采样与实验室检测

6.5.1 检测指标

6.5.1.1 基坑土壤的检测指标一般为对应修复范围内土壤中目标污染物。存在相邻基坑时，应考虑相邻基坑土壤中的目标污染物。

6.5.1.2 异位修复后土壤的检测指标为实施方案中确定的目标污染物，若外运到其他地块，还应根据接收地环境要求增加检测指标。

6.5.1.3 原位修复后土壤的检测指标为实施方案中确定的目标污染物。

6.5.1.4 修复后地下水的检测指标为实施方案中确定的目标污染物。

6.5.1.5 化学氧化/还原修复、微生物修复后土壤的检测指标应包括产生的二次污染物，原则上二次污染物指标应根据实施方案中的可行性分析结果和地下水修复工程确定。

6.5.1.6 风险管控效果评估指标包括工程性能指标和污染物指标。工程性能指标包括抗压强度、渗透性能、阻隔性能、工程设施连续性与完整性等；污染物指标包括关注污染物浓度、浸出浓度等目标污染物及其他相关指标。

6.5.1.7 必要时同步测定土壤理化指标、修复设施运行参数等作为风险管控或修复效果评估的依据；可增加地下水水位、地下水流速、地球化学参数等作为风险管控效果的辅助判断依据。

6.5.2 采样与检测要求

6.5.2.1 效果评估现场采样方法、现场质量控制、现场人员防护和现场污染应急处理等按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 的规定执行，样品保存、流转按照 HJ/T 166、HJ 164、HJ/T 91、HJ 493、HJ/T 194、HJ 91.1、HJ/T 20 中相关要求执行，对于特殊检测项目应按照相关要求在限定时间内进行检测。

6.5.2.2 效果评估实验室检测按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 的规定执行，应由具备中国计量认证（CMA）资质的实验室进行样品检测分析。检测过程选用的方法检测限必应低于对应污染物的修复目标值。检测报告内容应包括：样品预处理、检测方法、使用仪器、质量控制方法、检测结果等。

7 效果评估

7.1 土壤污染修复效果评估

7.1.1 土壤污染修复的效果评估标准值

7.1.1.1 依据地块调查评估、实施方案中结合环境背景值确定的修复目标值合理设置。

7.1.1.2 基坑土壤评估标准值为地块调查评估、实施方案中确定的修复目标值。

7.1.1.3 异位修复后土壤的评估标准应根据其最终去向确定：

- a) 若修复后土壤回填到原基坑，评估标准为调查评估、实施方案中确定的目标污染物的修复目标值；
- b) 若修复后土壤外运到其他地块，应根据接收地土壤暴露情景进行风险评估确定评估标准值，或采用接收地土壤背景浓度与 GB 36600 中接收地用地性质对应筛选值的较高者作为评估标准值，并确保接收地的地下水和环境安全。风险评估可参照 HJ 25.3 执行。

7.1.1.4 原位修复后土壤的评估标准值为地块调查评估、实施方案中确定的修复目标值。

7.1.1.5 化学氧化/还原修复、微生物修复潜在二次污染物的评估标准值可参照 GB 36600 用地性质对应筛选值执行，或根据暴露情景进行风险评估确定其评估标准值，风险评估可参照 HJ 25.3 执行。

7.1.2 土壤污染修复的效果评估方法

7.1.2.1 可采用逐一对比和统计分析的方法进行土壤污染修复效果评估。

7.1.2.2 当样品数量 < 8 个时，应将样品检测值与效果评估标准值逐个对比：

- a) 若样品检测值低于或等于效果评估标准值，则认为达到修复效果；
- b) 若样品检测值高于效果评估标准值，则认为未达到修复效果。

7.1.2.3 当样品数量 ≥ 8 个时，可采用统计分析方法进行效果评估。一般采用样品均值的 95% 置信上限与效果评估标准值进行比较，下述条件全部符合方可认为地块达到土壤污染修复效果：

- a) 样品均值的 95% 置信上限小于或等于效果评估标准值；
- b) 样品浓度最大值不超过效果评估标准值的 2 倍；
- c) 样本超标点不相对集中在某一区域。

7.1.2.4 若采用逐个对比方法，当同一污染物平行样数量 ≥ 4 组时，可结合 t 检验分析采样和检测过程中的误差，确定检测值与效果评估标准值的差异，t 检验方法参照 HJ 25.5 执行：

- a) 若各样品的检测值显著低于效果评估标准值或与效果评估标准值差异不显著，则认为该地块达到修复效果；
- b) 若某样品的检测结果显著高于效果评估标准值，则认为地块未达到修复效果。

7.1.2.5 原则上统计分析方法应在单个基坑或单个修复范围内分别进行。

7.1.2.6 对于低于报告检出限的数据，可用报告限值数值进行统计分析。

7.2 地下水污染修复的效果评估

7.2.1 地下水污染修复的效果评估标准值

7.2.1.1 修复后地下水的评估标准值为地块环境调查或实施方案中目标污染物的修复目标值。

7.2.1.2 若修复目标值有变，应结合修复工程实际情况与管理要求调整效果评估标准值。

7.2.1.3 化学氧化、化学还原、微生物修复产生的二次污染物的评估标准，原则上应根据实施方案中的可行性分析结果确定，也可参照 GB/T 14848 中地下水使用功能对应标准值执行，或根据暴露情景进行风险评估确定，风险评估可参照 HJ 25.3 执行。

7.2.2 地下水污染修复效果达标判断

7.2.2.1 原则上每口监测井中的检测指标均持续稳定达标，方可认为地下水达到修复效果。若未达到修复效果，应对未达标区域开展补充修复。

7.2.2.2 可采用趋势分析进行持续稳定达标判断：

- a) 地下水中污染物浓度呈现稳态或者下降趋势，可判断地下水达到修复效果；
- b) 地下水中污染物浓度呈现上升趋势，则判断地下水未达到修复效果。

7.2.2.3 在 95% 的置信水平下，趋势线斜率显著大于 0，说明地下水污染物浓度呈现上升趋势；若趋势线斜率显著小于 0，说明地下水污染物浓度呈现下降趋势；若趋势线斜率与 0 没有显著差异，说明地下水污染物浓度呈现稳态。

7.2.2.4 同时满足下列条件的情况下，可判断地下水修复达到极限：

- a) 地块概念模型清晰，污染羽及其周边监测井可充分反映地下水修复实施情况和客观评估修复效果；
- b) 至少有 1 年的月度监测数据显示地下水中污染物浓度超过修复目标且保持稳定或无下降趋势；
- c) 通过概念模型和监测数据可说明现有修复技术继续实施不能达到预期目标的主要原因；
- d) 现有修复工程设计合理，并在实施过程中得到有效的操作和足够的维护；
- e) 进一步可行性研究表明不存在适用于本地块的其他修复技术。

7.2.3 残留污染物的风险评估

7.2.3.1 对于地下水污染修复，若目标污染物浓度未达到评估标准，但判断地块地下水已达到修复极限，可在实施风险管控措施的前提下，对残留污染物进行风险评估。

7.2.3.2 残留污染物风险评估包括以下工作内容：

- a) 更新地块概念模型：掌握风险管控或修复后地块的水文地质条件、污染物空间分布、潜在暴露途径、受体等，考虑风险管控措施设置情况，更新地块概念模型，具体参照 HJ 25.5 执行；

- b) 分析残留污染物环境风险：地块内目标污染物等已最大限度地被清除，修复停止后至少 1 年且有 8 个批次的监测数据表明污染羽浓度降低或趋于稳定，污染羽范围逐渐缩减，或地下水中污染物存在自然衰减；
- c) 开展人体健康风险评估：残留污染物人体健康风险评估可参照 HJ 25.3 执行，相关参数根据地块概念模型取值。

7.2.3.3 若残留污染物对环境和受体产生的风险可接受，则认为达到修复效果；若残留污染物对受体和环境产生的风险不可接受，则需对现有风险管控措施进行优化或提出新的风险管控措施。

7.3 土壤污染风险管控效果评估

7.3.1 土壤污染风险管控的效果评估标准

7.3.1.1 风险管控工程性能指标应满足设计要求或不影响预期效果。

7.3.1.2 风险管控措施下游地下水中污染物浓度应持续下降，地下水污染扩散得到控制，固化/稳定化后土壤中污染物的浸出浓度应达到接收地地下水用途对应标准值或不会对地下水造成危害。对于采取阻隔措施区域的检测应包括实际是否达到控制目标所需厚度和覆盖层的性能监测，采用土壤覆盖层应测定其土壤理化指标和特征污染物含量。

7.3.1.3 风险管控措施生态恢复效果评估按照 HJ 651 相关要求，对污染物排放、植被覆盖度、水土流失情况等方面进行评估。

7.3.2 土壤污染风险管控的效果评估方法

7.3.2.1 若工程性能指标和污染物指标均达到评估标准，则判断风险管控达到预期效果，可对风险管控措施继续开展运行与维护。

7.3.2.2 若工程性能指标或污染物指标未达到评估标准，则判断风险管控未达到预期效果，应对风险管控措施进行优化或调整。

8 后期环境监管建议

8.1 后期环境监管要求

8.1.1 下列情景下，应提出后期环境监管建议：

- a) 原则上修复后土壤中污染物浓度未达到 GB 36600 用地性质对应筛选值的地块；
- b) 原则上修复后地下水中污染物浓度未达到 GB/T 14848 中地下水使用功能对应标准值的地块；
- c) 实施风险管控的地块。

8.1.2 后期环境监管方式应包括长期环境监测与制度控制，两种方式可结合使用。

8.1.3 原则上后期环境监管直至地块土壤中污染物浓度达到 GB 36600 用地性质对应筛选值、地下水中污染物浓度达到 GB/T 14848 中地下水使用功能对应标准值或环境背景值为止。

8.2 长期环境监测

8.2.1 实施风险管控的地块应开展长期监测。

8.2.2 一般通过设置地下水监测井进行周期性地下水样品采集和检测，监测井位置应优先考虑污染物浓度高的区域、受体所处位置等。

8.2.3 应充分利用地块内符合采样条件的监测井。

8.2.4 原则上长期监测宜 1~2 年开展一次,可根据实际情况进行调整。若连续达标,且污染物呈持续下降趋势,可以解除监测监控,否则不应停止。

8.3 制度控制

8.3.1 条款 8.1.1 所述的三种情景均需开展制度控制。

8.3.2 制度控制包括限制地块使用方式、限制地下水利用方式、通知和公告地块潜在风险、制定限制进入或使用条例等方式,多种制度控制方式可同时使用。

9 编制效果评估报告

9.1 效果评估报告主要内容

效果评估报告应包括地块概况、风险管控或修复工程实施情况、环境保护措施落实情况、效果评估布点与采样、检测结果分析、效果评估结论及后期环境监管建议等内容。

9.2 效果评估报告提纲

效果评估报告可参见附录B进行编制。

附录 A

(资料性)

地块概念模型涉及信息及其作用

表A.1给出了地块概念模型涉及信息及其作用。

表 A.1 地块概念模型涉及信息及其作用

地块概念模型涉及信息	在效果评估中的作用
地理位置	了解背景情况
地块历史	了解背景情况
地块调查评估活动	了解背景情况
地块土层分布	确定采样深度
水位变化情况	采样点设置
地块水文地质情况	采样点设置
污染物分布情况	了解地块污染情况
目标污染物、修复目标	明确评估指标和标准
土壤修复范围	明确评估对象和范围
地下水污染羽	明确评估对象和范围
修复方式及工艺	制定效果评估方案
实施方案有无变更及变更情况	制定效果评估方案
施工周期与进度	确定效果评估采样节点
异位修复基坑清理范围与深度	采样点设置
异位修复基坑放坡方式、基坑护壁方式	采样点设置
修复后土壤土方量及最终去向	采样点设置、采样节点
修复设施平面布置	采样点设置
修复系统运行监测计划及已有数据	采样点设置、采样节点
目标污染物浓度变化情况	采样点设置、采样节点
地块内监测井位置及建井结构	判断是否可供效果评估采样使用
二次污染排放记录及监测报告	辅助资料
地块修复实施涉及的单位和机构	辅助资料

附录 B
(资料性)
效果评估报告提纲

1 项目背景

简要描述受污染地块基本信息，调查评估及风险管控或修复的时间节点与概况、相关批复情况等。简明列出以下信息：项目名称、项目地址、业主单位、调查评估单位、风险管控或修复施工单位、监理单位、效果评估单位。

2 工作依据

- 2.1 法律法规
- 2.2 标准规范
- 2.3 项目文件

3 地块概况

- 3.1 地块调查评价结论
- 3.2 实施方案主要任务及目标
- 3.3 风险管控或修复实施情况
- 3.4 环境保护措施落实情况

4 地块概念模型

- 4.1 资料回顾
- 4.2 现场踏勘
- 4.3 人员访谈
- 4.4 更新地块概念模型

5 效果评估布点与采样方案

- 5.1 土壤污染修复效果评估布点
 - 5.1.1 评估范围
 - 5.1.2 采样节点和频次
 - 5.1.3 布点数量与位置
 - 5.1.4 检测指标
 - 5.1.5 评估标准值
- 5.2 地下水污染修复效果评估布点
 - 5.2.1 评估范围
 - 5.2.2 采样节点和频次
 - 5.2.3 布点数量与位置
 - 5.2.4 检测指标
 - 5.2.5 评估标准值
- 5.3 风险管控效果评估布点
 - 5.3.1 检测指标和标准
 - 5.3.2 采样周期和频次
 - 5.3.3 布点数量与位置

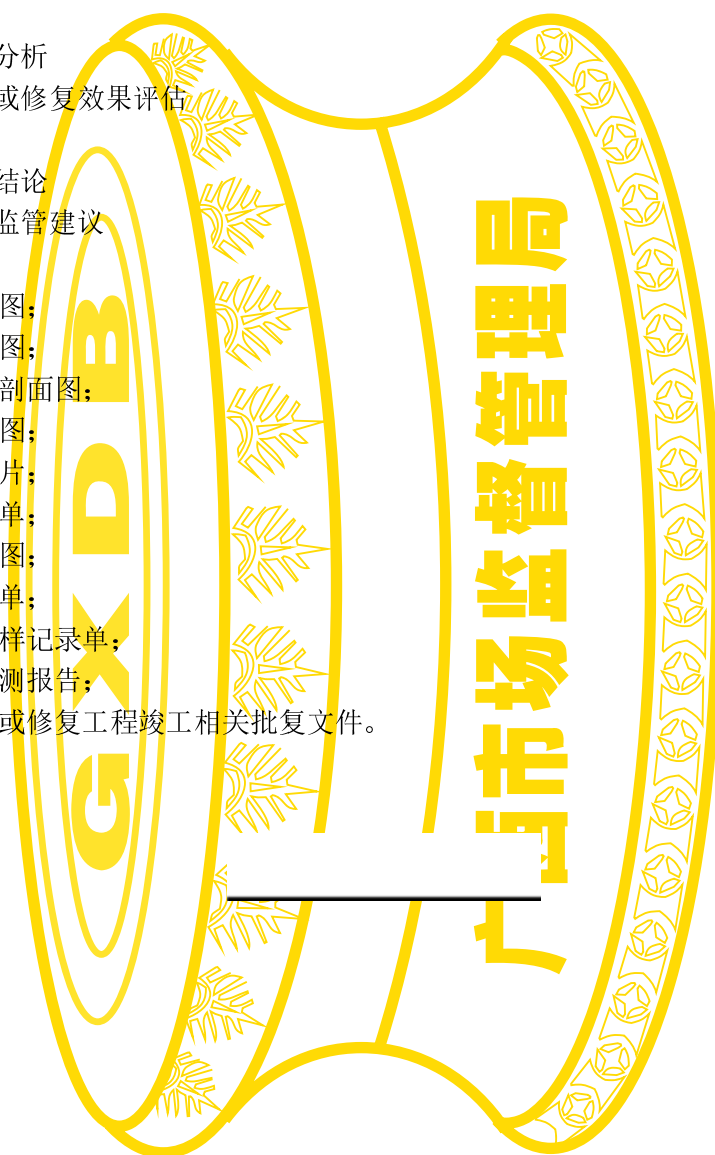
6 现场采样与实验室检测

- 6.1 样品采集
 - 6.1.1 现场采样

- 6.1.2 样品保存与流转
- 6.1.3 现场质量控制
- 6.2 实验室检测
 - 6.2.1 检测方法
 - 6.2.2 实验室质量控制
- 7 效果评估
 - 7.1 检测结果分析
 - 7.2 风险管控或修复效果评估
- 8 结论与建议
 - 8.1 效果评估结论
 - 8.2 后期环境监管建议

附件：

- a) 地块规划图；
- b) 修复范围图；
- c) 水文地质剖面图；
- d) 钻孔结构图；
- e) 岩心箱照片；
- f) 采样记录单；
- g) 建井结构图；
- h) 洗井记录单；
- i) 地下水采样记录单；
- j) 实验室检测报告；
- k) 风险管控或修复工程竣工相关批复文件。



中华人民共和国广西地方标准
铅锌矿采选行业地块土壤污染风险管控和
修复效果评估技术规范
DB 45/T 2426—2021
广西壮族自治区市场监督管理局统一印刷
版权专有 侵权必究