

团 体 标 准

T/GDAEPI 20—2023

有色金属矿区地下水污染治理效果评价 技术规范

Technical specification for evaluation of groundwater pollution administer effect in
nonferrous metal mining areas

2023 - 12 - 18 发布

2024 - 01 - 17 实施

广东省环境保护产业协会 发 布

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 工作程序和评价范围 1

5 资料整理与踏勘 2

6 布点、采样及检测 3

7 污染治理效果评价 5

8 后期环境监管 7

附录 A（资料性） 地下水监测点基本情况表 8

附录 B（资料性） 差变系数和 t 检验方法 9

附录 C（资料性） 效果评价报告编制大纲 10

参考文献 11

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。

本文件由广东省环境保护产业协会提出并归口。

本文件起草单位：生态环境部华南环境科学研究所、中山大学、广东省水文地质大队、广州市第一市政工程有限公司、广东省环境地质勘察院、深圳市北研生态环境科技有限公司、广东自远环保股份有限公司、广东省有色矿山地质灾害防治中心、产学研（广州）环境服务有限公司。

本文件主要起草人：董家华、罗海林、陈志良、邹奇、王诗忠、金超、梁明易、孙双双、叶蓁、卢胜华、钟杰玲、任卫波、陈振波、罗丽丽、胡启智、张楠、李建和、韦美金、丘宙、严良政、杨鹏坤。

有色金属矿区地下水污染治理效果评价技术规范

1 范围

本文件规定了有色金属矿区地下水污染治理效果评价（以下简称“效果评价”）的术语和定义、工作程序和评价范围、资料整理与踏勘、布点和样品的采集及检测、污染治理效果评价、后期环境监管等内容。

本文件适用于采取治理与修复工程等有色金属矿区地下水污染防治措施后的地下水污染治理效果评价工作。

非金属矿山的地下水污染治理效果评价工作参考使用本文件。

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

HJ 164 地下水环境监测技术规范

HJ 1019 地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

治理修复 pollution cleanup and remediation

采用工程、技术和政策等措施，通过各种物理、化学、生物方法来消除、削减地下水外源性物质或将风险控制在可接受水平的活动。

3.2

治理效果评价 control effect assessment

在地下水治理工程、措施完成后，对地下水进行监测，以确定地下水治理和修复是否达到预期要求，测算和评价地下水治理和修复活动产生的效果，确定所带来的直接效果和附加效益。

3.3

治理效果评价标准 assessment criteria for control effect

评估地下水污染治理效果是否达到环境和健康安全的标准或准则。

注：本文件所指评价标准包括目标污染物浓度达到修复目标值、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。

4 工作程序和评价范围

4.1 评价工作程序

根据效果评价的目标、任务和流程等确定工作程序，一般应包括项目启动、确定评价对象及范围、资料整理与现场踏勘、现场布点采样、实验室检测、效果达标判断、提出后期监管措施、编制评价报告等程序。评价流程见图1。

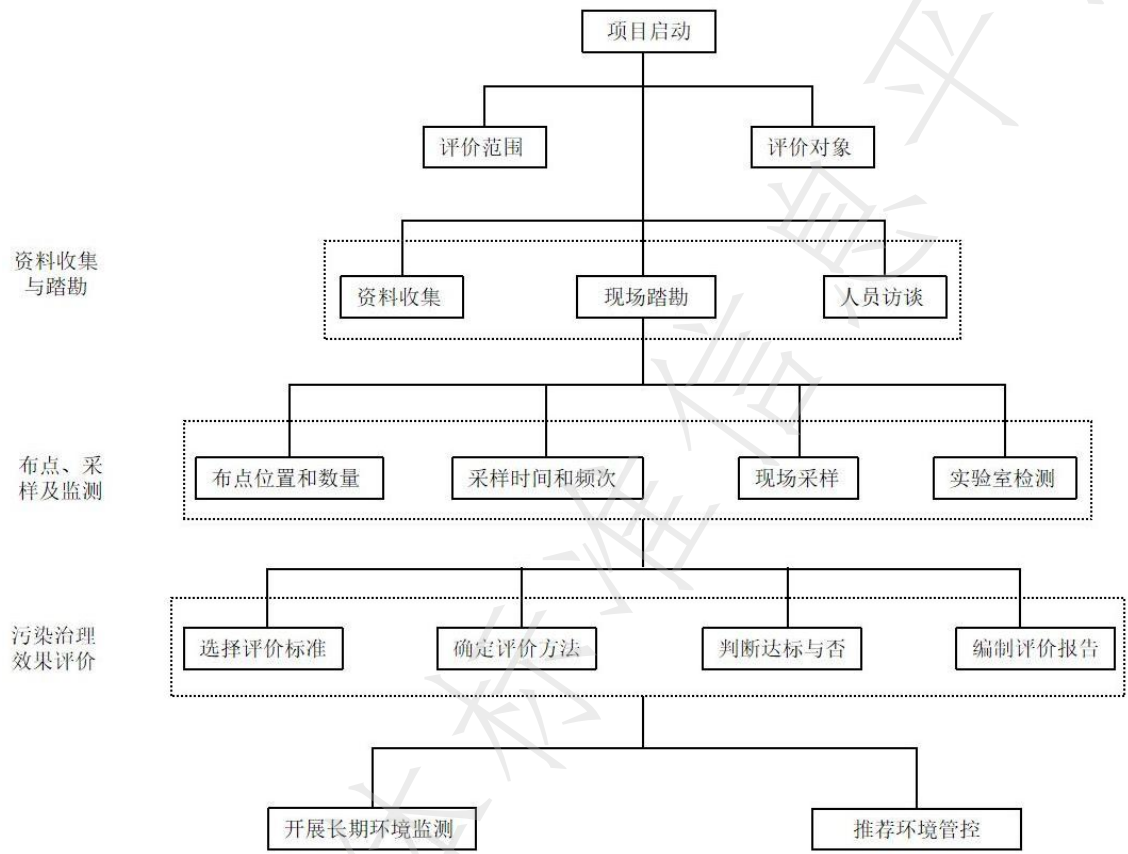


图1 有色金属矿区地下水污染治理效果评价工作流程

4.2 评价范围及对象

4.2.1 评价范围

4.2.1.1 效果评价的范围主要为污染地块中需治理修复的区域及治理修复过程中可能受扰动的区域，包括暂存、处置和修复过程中污染物迁移涉及的区域。

4.2.1.2 对于涉及危险废物清除的污染地块，应对清除后的区域进行采样评价。

注：可能受扰动的范围如采矿区、选矿区、尾矿库以及其他可能的二次污染区等。

4.2.2 评价对象

评价的对象包括评价范围内的地下水及其他可能造成地下水污染的环境介质。

5 资料整理与踏勘

5.1 资料收集和分析

5.1.1 资料收集

在效果评价工作开展之前，应收集与有色金属矿区污染治理修复相关的资料，对收集的资料进行整理和分析，效果评价单位应根据需要对资料进行深入研究和了解。收集的资料清单包括但不限于以下7种：

- a) 治理修复地块地下水、土壤等环境调查、监测与风险评价、应急报告；
- b) 治理修复工程技术方案、可行性研究报告等设计文件；
- c) 治理修复工程技术方案、施工记录等工程资料；
- d) 治理修复工程的监理方案、监理报告以及监理现场记录等监理资料；
- e) 相关合同协议（委托处理污染地下水的相关文件和合同、实施方案变更协议、施工过程中废水、废渣、污泥等去向接收证明等）；
- f) 治理修复区域的水文地质图及地质勘察报告；
- g) 其它文件和图件（如评价范围内的用地规划、环境功能区划及相关环境保护规划、相关规范性文件等）。

5.1.2 资料分析

评价单位应针对上述收集的资料进行分析，重点分析以下内容：

- a) 了解治理修复区域周边土地利用、植被覆盖基本情况，地下水水文地质状况；
- b) 了解治理修复设计方案等文件中确定的修复模式、修复技术、目标污染物、修复目标和修复范围；
- c) 分析施工组织设计或方案中的工艺流程和施工进度计划以合理确定评价时间；
- d) 在治理修复工程实施效果评价前，审阅工程环境监理相关记录。

5.2 现场踏勘

5.2.1 了解地下水治理修复工程措施实施的相关情况，包括核实现场状况与资料文件的相符性、设施运行情况、现场治理修复工程实施情况、地块及周边敏感区域现状等。

5.2.2 参照 HJ 25.1 规定的程序和技术要求，开展现场踏勘，通过摄影、拍照、文字记录等方式，记录场地勘察情况。

5.3 人员访谈

通过与有色金属矿区地下水污染治理责任人、调查评价负责人、修复施工负责人、监理人员等进行沟通和访谈，进一步了解地下水污染治理基本情况，明确效果评价的关键因素和重点。

6 布点、采样及检测

6.1 布点位置和数量

6.1.1 基本要求

6.1.1.1 地下水的采样布点可参照 HJ 164 或 DZ/T 0388 方法执行，也可参考污染防控方案和工程设计中的监测采样布点方法，参照附录 A 填写地下水监测点基本情况。

6.1.1.2 土壤的采样布点可参照 HJ 25.2—2019 及 HJ 25.5 的方法进行。

6.1.2 布点要求

6.1.2.1 原位修复工程地下水修复效果评价布点应涵盖地下水治理与修复区域及其上下游，设置对照井、内部监测井和控制井。对照井设置在污染羽地下水流程上游，反映区域地下水质量。内部监测井设置在污染羽内部，反映修复过程中污染羽浓度变化情况，内部监测井可结合污染羽分布情况，按三角形或四边形布设。

6.1.2.2 原则上对照井至少设置 1 个，内部监测井至少设置 3~4 个，控制井至少设置 4 个，数量可根据修复工程特点和修复面积大小合理调整。内部监测井设置网格一般不宜大于 80 m×80 m，存在非水溶性有机物或污染物浓度高的区域，监测井设置网格不宜大于 40 m×40 m。

6.1.2.3 对于非连续区域应综合考虑不同区域大小、可能污染程度及类型进行监测井的设置，应增加额外地下水监测点位的项目，可参照 HJ 25.2—2019 中 6.2.2 规定的要求执行。

6.1.2.4 可利用地块环境调查、评价和修复过程建设的监测井，但原监测井数量不应超过效果评价时监测井总数的 60%，新增监测井位置布设在需修复的地下水污染最严重的区域。

6.1.2.5 当含水层厚度大于 6 m 时，原则上应分层进行采样，层数的数量和采样点位深度可根据污染物特征、含水层结构等进行合理调整。对于低密度非水溶性有机物污染，采样点应设置在含水层顶部；对于高密度非水溶性有机物污染，采样点应设置在含水层底部和隔水层顶部，针对不同含水层设置监测井的应分层止水。

6.1.2.6 采用原位修复的土壤水平方向上采用系统布点法，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，原则上垂向上两个采样点距离不大于 3 m。

6.1.2.7 采用抽提等地下水异位修复工程技术的效果评价布点可根据批次确定采样单元和采样点数量，原则上每个采样单元代表的地下水量不应超过 500 m³。

6.1.2.8 采用基坑修复工程开展土壤和地下水修复治理的，可在污染土壤清理后的基坑底部与侧壁进行土壤布点采样，若侧壁采用基础围护，则宜在基坑清理同时进行侧壁布点采样，或在基础围护设施外边缘布点采样。

6.1.2.9 潜在二次污染区域地下水和土壤采样主要根据评价范围中确定的潜在二次污染区域的面积、分布、类型、修复设施设置及潜在二次污染来源等情况选择布点方法，确定点位数量。地下水可利用现有符合采样要求的监测井，达不到要求的，可在每个重点区域设置 1~2 口监测井。土壤采样点可采用系统布点法设置。

6.1.2.10 采样工作一般安排在地下水治理与修复活动已经终止、地下水处于稳定状态时进行，采样频率和采样持续时间应根据具体场地的水流条件来确定。

6.2 采样时间和频次

6.2.1 污染治理效果评价阶段的采样可参照 HJ 25.6 的方法。

6.2.2 采样频次应根据有色金属矿山的水文地质条件、地下水修复方式、所在区域及采样条件等确定，同时考虑水力梯度、渗透系数、季节变化和其他有关因素等。

6.2.3 采用原位修复技术的地下水治理与修复工程开展效果评价的，地下水采样频次可为一个季度一次，采用异位修复工程进行初期效果评价的，采样频次根据需要 1~2 个月采样一次，两个批次之间的间隔不应少于 1 个月。对于地下水水文流场变化较大的区域，可适当提高采样频次。

6.2.4 土壤样品可与地下水同步采集，也可根据工程进度分批次采样。

6.3 现场采样

6.3.1 地下水监测井的建井和洗井方法及要求参照 DZ/T 0270。

6.3.2 地下水现场采样与实验室检测方法参照 DZ/T 0288、DZ/T 0388、HJ 25.1、HJ 25.2—2019 的方法，采集挥发性有机污染物（VOCs）水样时按 HJ 1019 执行。

6.3.3 地下水水样采集可根据实际情况选用自动式或人工式采样器，采样器应能在井中准确定位，并可取得满足分析所需的足够数量的水样。采样器与水样直接接触部分应采用不锈钢、聚四氟乙烯等惰性材料。

6.3.4 开展实施效果评价的内部和外部控制井应每季度采样一次，对照井可每年采样两次，丰水期和枯水期各一次。

6.3.5 水样采集后应及时做好标识，并尽快送交实验室分析。

6.3.6 水样在运输过程中应避免阳光直射、冰冻和剧烈震动。

6.3.7 必要时开展地表水和土壤的采样检测，地表水和土壤监测点的布设和采样可分别参照 HJ 25.2—2019、HJ 91.2 要求。

6.4 实验室检测

6.4.1 检测指标

6.4.1.1 修复工程效果评价的检测指标为地下水污染治理修复技术方案中确定的目标污染物，化学氧化、化学还原、微生物修复后地下水的检测指标应包括产生的二次污染物，检测时应执行 GB/T 14848、HJ 164 的相应标准。

6.4.1.2 开展地表水和土壤检测分析的，地表水一般选择 HJ 91.2 中的常规检测项目，土壤可参照 GB 36600 的第二类用地的建设用地土壤污染风险筛查值和管制值（基本项目），并结合目标污染物、特征污染物选择其他项目。

6.4.1.3 监测的组织机构、监测人员、现场监测仪器、实验室分析仪器与设备等参照 RB/T 214、HJ 630、HJ 493 的有关内容执行。

7 污染治理效果评价

7.1 选择评价标准

7.1.1 地下水治理修复工程效果评价标准值为地下水治理修复技术方案中目标污染物的修复目标值。

7.1.2 对于实施后期环境监管防护措施的，治理效果评价标准主要参考监测保护对象所需要的地下水水质标准。

7.1.3 原位修复后的土壤评价标准值为前期调查、修复方案或实施方案确定的修复目标值，异位修复后土壤的评价标准值应根据其最终去向确定。

7.1.4 地下水化学氧化还原、微生物修复产生的二次污染物的评价标准，原则上应根据治理与修复技术方案中的可行性分析结果确定，也可参照 HJ 25.6 等的有关标准确定。

7.1.5 土壤潜在二次污染物的评估标准值可参照 GB 36600 中相关用地筛选值，风险评估可参照 HJ 25.3 执行。

7.2 确定评价方法和内容

7.2.1 通过分析检测数据、工程实施情况的符合性及政策相符性，评价污染治理成效是否达到效果评价标准，判定是否达到污染防治目标要求。若效果评价未通过，应指出不达标区域和指标，便于项目后

期管理。

7.2.2 地下水治理修复工程的效果评价可先采用修复工程运行阶段监测数据进行修复达标初判。

7.3 修复达标初判

7.3.1 原则上采用工程运行阶段和结束后的监测数据进行效果是否达标初判，参照 HJ 25.6，原则上需要一年 4 个批次的监测数据。

7.3.2 若地下水中污染物浓度均未检出或低于修复目标值，则初步判断达到修复目标。若部分指标浓度高于修复目标值，可采用均值检验或趋势检验方法进行修复达标初判，当均值的置信上限低于修复目标值，浓度稳定且持续降低时，则初步判断达到修复目标。

7.3.3 若修复过程改变了地下水水文流场，则需要达到新的稳定状态后再监测。

7.3.4 对于评价期开展了监测分析的，要分析治理与修复后的污染物残存浓度及评价时监测指标的分析检测结果，将总体样本进行逐个对比法评价，根据不同情况进行达标及效果的初步判断。

- a) 若某点位中所有目标污染物的检测值均低于或等于评价标准时，则判定该点位为合格点位。
- b) 若某点位中有一种或多种目标污染物的检测值超过评价标准倍数大于或等于 1 倍时，则判定该点位为不合格点位。
- c) 若某点位中有一种或多种目标污染物检测值超过评价标准倍数小于 1 倍时，应采用差变系数法和 t 检验法对该点位进行评价，差变系数和 t 检验方法参见附录 B。只有所有点位均合格，方可判定达到污染治理效果。
- d) 当样品大于一定数量时，可采用统计分析方法进行效果评价，一般采用显著水平 $\alpha=0.05$ ，也即均值的 95%置信上限与修复效果评价标准值进行比较。

7.3.5 对于地下水污染治理工程在生产过程中和完工后是否产生了二次污染及二次污染物超标与否应分别进行评价。

- a) 对于生产过程中产生的废弃物要收集分析废弃物去向、处理处置的证明材料进行分析评价。
- b) 工程完工后要在评价范围中确定的潜在二次污染区采集分析地下水、土壤，必要时同时采集分析地表水和大气等样品，判断是否超过工程设计中提出的相关标准，超出的要提出治理方案及采取相应措施。

7.4 判断效果达标情况

7.4.1 对于实施修复与治理工程的有色金属矿区地下水、土壤达标的判断，原则上每口地下水监测井的地下水样品、每个采样点的土壤样品中的检测指标均持续稳定达标，方可认为达到修复效果。若未达到修复效果，应根据实际情况判断是否要开展补充修复。

7.4.2 如根据判断，目前的地下水治理和修复成效已达到极限，可对残留污染物进行风险评估。

- a) 若地下水中的残留污染物对受体和环境的风险可接受，则认为达到了修复效果，无须进一步开展补充修复。
- b) 若风险不可接受，应进行补充修复或采用新的、有效的风险管控措施。
- c) 若经延续修复后，区域内地下水非水溶性有机物等已最大限度地被清除，修复停止后至少一年且有 8 个批次及以上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，或污染物存在自然衰减，预期可达到修复目标，可判断已达到治理效果评价标准。

7.5 编制效果评价报告

污染治理效果评价报告应包括有色金属矿区概况及地下水情况、地下水污染治理措施实施情况、环境保护措施落实情况、效果评价工作程序和方法、布点与采样、检测结果分析、目标与指标达标情况分析、管控措施、效果评价结论及后期环境监管建议，评价报告编制大纲见附录C。

8 后期环境监管

8.1 总体要求

根据效果评价结论，提出后期环境监管的要求和需求，后期监管的方式应包括长期环境监测和管理控制等措施。

8.2 长期环境监测

8.2.1 通过建立地下水长期监测井或利用符合要求的现有监测井，周期性地开展地下水样品采集和检测，必要时设置临时的土壤和地下水监测井/孔加密采样点位。监测井位置应优先考虑可能存在潜在风险、污染物浓度较高的区域及受体所处位置等。

8.2.2 长期监测地下水和土壤的采样频次参照 HJ 1209—2021 中规定的地下水最低监测频次，即半年 1 次和每年 1 次，必要时缩短采样频次，具体可根据实际情况进行调整。

8.2.3 长期监测指标可参考效果评价时的监测指标，对于连续几年污染物浓度低于检出限或很低的指标，后续可不测或 2 年~3 年测 1 次。

8.3 环境管控

从管理上制定相应的措施、制度，防止地下水、土壤被再次污染，包括限制地块使用方式、限制地下水利用方式、阻断污染源进入地下水的工程和管理措施、优化有色金属开采模式、限制或禁止人员等。

附 录 A
(资料性)
地下水监测点基本情况表

表A. 1给出了地下水监测点基本情况表的页面格式。

表 A. 1 地下水监测点基本情况表

监测点编号		地理位置	省(区/市) 市 县(区) 乡(镇) 村		
原编号(利用原有监测井的填写)		地理坐标	经度: 纬度:		
所属矿区					
所属单位		委托单位		联系人	
所属流域		水文地质单元		电话	
监测井级别		监测井类别		地下水类型	
地面高程(m)		井口高程(m)		孔深(m)	
孔口直径(m)		孔底直径(m)		孔管类型	
含水层埋藏深度(m)		水位埋深(m)		监测手段	
含水层地层代号		含水介质类型		监测内容	
矿化度(g/L)		水化学类型		监测频次	
钻探施工单位		钻探施工日期		监测仪器安装日期	
传感器类型		传感器编号		传感器量程	
线长		探头埋深		发射仪类型	
安装SIM卡号		发射中心站		发射仪编号	
维护记录					
维护日期			维护人员		
维护内容			审核人		
备注					

附 录 B (资料性) 差变系数和 t 检验方法

B.1 差变系数计算方法

差变系数指的是“修复后地块污染物平均浓度与修复目标值的差异”与“估计标准差”的比值，用 r 表示。差异越大、估计标准差越小，则差变系数越大，所需样本量越小。计算方法如下：

$$r = \frac{(c_s - \mu_t)}{\sigma} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

c_s ——修复目标值；

μ_t ——估计的总体均值，通常用已有样品的均值来估算；

σ ——估计标准差。

注：根据前期资料 and 先验知识估计或计算，具体如下：首先从修复中试验或其他先验试验中选择简单随机样本，样本量不少于20个，确定20个样本的浓度；若不是简单随机样本，则样本点应覆盖整个区域、能够代表采样区；若样本量少于20个，则补充样本量或采用其他的统计分析方法进行计算，然后计算20个样本的标准差，作为估计标准差。

B.2 t 检验计算方法

t 核验是判定给定的常数是否与变量均值之间存在显著差异的最常用的方法。

假设一组样本，样本数为 n ，样本均值为 $\bar{x}$ ，样本标准差为 s ，利用 t 检验判定某一给定值 μ_0 是否与样本值 $\bar{x}$ 存在显著差异，步骤为：

- a) 确定显著水平 α ，常用 $\alpha = 0.05$ ， $\alpha = 0.01$ ；
- b) 计算检验统计量：

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} \dots\dots\dots (B.2)$$

- c) 根据自由度 $\varphi = n - 1$ 和 α 查 t 分布临界值表，确定临界值 $c = \frac{t_\alpha}{2}(n - 1)$ ，例如 $n = 8$ ， $\alpha = 0.05$ ，则 $t = 2.365$ ；
- d) 统计推断：若 $|t| > c$ ，即 $\mu_0 > \bar{x} + c \cdot s/\sqrt{n}$ 或 $\mu_0 < \bar{x} - c \cdot s/\sqrt{n}$ ，则与均值存在显著差异，且前者为显著大于均值，后者为显著小于均值；若 $|t| < c$ ，即 $\bar{x} - c \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu_0 \leq \bar{x} + c \cdot s/\sqrt{n}$ ，则与均值不存在显著差异。

附 录 C
(资料性)
效果评价报告编制大纲

效果评价报告编制大纲包括但不限于：项目背景、工作依据、地块及污染治理概况、效果评价工作程序和方法、现状调查、布点与采样方案和样品采集及检测、效果评价、结论和建议及附件，参照表C.1的框架结构进行编制。

表 C.1 效果评价报告编制大纲

章条编号	章条名称
1	项目背景 ^a
2	工作依据
2.1	法律法规
2.2	标准规范
2.3	项目文件
3	地块及污染治理概况
3.1	地块基本情况调查评价
3.2	地下水污染治理修复技术方案
3.3	地下水污染治理修复工程实施情况
3.4	环境保护措施落实情况
4	效果评价工作程序和方法
4.1	工作程序
4.2	评价方法和重点
5	现状调查
5.1	资料回顾分析
5.2	现场踏勘
5.3	人员访谈
5.4	现状调查结论
6	布点与采样方案
6.1	评价范围
6.2	采样节点和频次
6.3	布点数量与位置
6.4	检测指标
6.5	评价标准和方法
7	样品采集及检测
7.1	样品采集
7.2	实验室检测及质控
7.3	检测结果分析
8	效果评价
8.1	修复达标初判
8.2	目标与指标达标情况分析
8.3	效益分析
9	结论和建议
9.1	效果评价结论
9.2	后期环境监管建议
10	附件 ^b
^a 简要描述有色金属矿区生产状况、污染地块基本信息、地下水水文地质条件，调查评价及修复和风险管控的时间节点与概况、地下水污染治理工程验收及相关批复情况等。 ^b 包括但不限于土地利用现状图、水文地质剖面图、修复范围图、监测井布点图、建井结构图、洗井记录单、采样记录表、实验室检测报告等	

参 考 文 献

- [1] GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）
 - [2] DZ/T 0388 矿区地下水监测规范
 - [3] DZ/T 0288 区域地下水污染调查评价规范
 - [4] DZ/T 0270 地下水监测井建设规范
 - [5] HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则
 - [6] HJ 25.2—2019 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
 - [7] HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则
 - [8] 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）
 - [9] HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则
 - [10] HJ 493 水质采样 样品的保存和管理技术规定
 - [11] HJ 630 环境监测质量管理技术导则
 - [12] HJ 91.2 地表水环境质量监测技术规范
 - [13] HJ 1209—2021 工业企业土壤和地下水自行监测技术指南（试行）
 - [14] RB/T 214 检验检测机构资质认定能力评价 检验检测机构通用要求
-