

ICS 13.020.40  
CCS Z 50

# 团 体 标 准

T/GDAEPI 21—2023

## 有色金属矿区地下水污染防治与修复 过程监管技术规范

Technical specification for supervision of groundwater pollution prevention and  
remediation process in nonferrous metal mining areas

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 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 基本原则、工作流程和监管要求 .....	2
5 工程实施过程的环境监管 .....	4
6 地下水污染预防性监管 .....	6
7 地下水污染防治和修复的监督性监管 .....	11
8 地下水防治与修复的后期监管 .....	12
附录 A (资料性) 地下水环境监测井基本情况表 .....	14
附录 B (资料性) 有色金属矿区地下水监测一般指标和常规特征指标 .....	15
附录 C (资料性) 基于美国 EPA 的 DRASTIC 指标体系法的有色金属地下水防污性能评价 .....	16
附录 D (资料性) 有色金属矿区地下水重金属环境健康风险评价方法和分级 .....	18
参考文献 .....	19

## 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、广东自远环保股份有限公司、广东省有色矿地质灾害防治中心、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、李宇、钟志强、胡启智、黄春庆、尤永春、刘浔、卢胜华、钟杰玲、于波、林泽群、汪礼民、杨鹏坤。

# 有色金属矿区地下水污染防治与修复过程监管技术规范

## 1 范围

本文件规定了有色金属矿区地下水污染防治与修复过程监管(以下简称“过程监管”)的基本原则、工作流程和监管要求、工程实施过程的环境监管、污染预防性监管、污染防治和修复的监督性监管以及地下水防治和修复的后期监管等内容。

本文件适用于开展有色金属矿区地下水污染防治与修复工程的相关方及有关监管部门对有色金属矿区地下水污染防治与修复全过程监管。

非有色金属矿区地下水的污染防治与修复过程监管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。

HJ 168 环境监测分析方法标准制订技术导则

HJ 630 环境监测质量管理技术导则

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

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**矿山开采区** mining area

矿石采掘及堆存场、矿山工业设施场地、废石堆放场等与矿山开采、加工相关的全部区域。

### 3.2

**尾矿库** tailing pond

用以贮存有色金属矿山进行矿石选别开采后排出尾矿的场所。

### 3.3

**过程监管** process supervision

采用工程、技术和政策等管理手段,对地下水污染防治与修复过程建立一个涵盖全部管理活动的监督管理体系。

### 3.4

**地下水环境监测井** groundwater environmental monitoring well

为准确把握地下水环境质量状况和地下水体中污染物的动态分布变化情况而设立的监测井。

[来源: HJ 164—2020—2020.3.7]

3.5

**地下水防污性能** groundwater vulnerability  
地下水防止某种或某类污染物污染的能力。

4 基本原则、工作流程和监管要求

4.1 基本原则

4.1.1 规范性

采用程序化和系统化的方式规范过程监管、污染预防性监管和监督性监管的主体、流程、内容等，保证过程监管的科学性和客观性。

4.1.2 针对性

针对有色金属矿区特征污染物和潜在污染物特征，制定针对性的有色金属矿区地下水污染预防、调查、治理、修复和监管的技术方法，为有色金属矿区地下水环境监管提供依据。

4.1.3 系统性

综合考虑监管对象、监管方法、时间和经费等因素，结合当前科技发展和专业技术水平，使过程监管工作切实可行，满足地下水污染防治的监管需要。

4.2 工作流程

过程监管的工作程序可按图1实施。

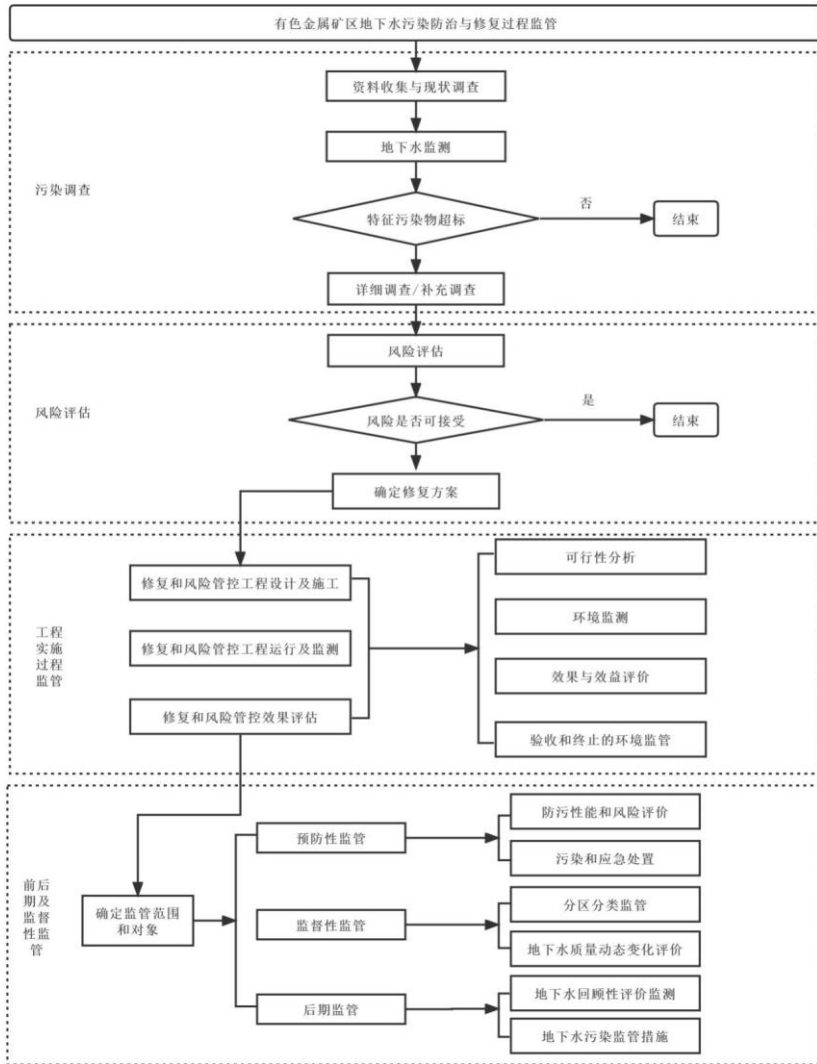


图1 有色金属矿区地下水污染防治与修复过程监管工作程序

### 4.3 监管要求

#### 4.2.1 监管范围

4.2.1.1 过程监管范围主要为矿区内应治理与修复的地下水区域及治理、修复过程中可能受扰动的区域。

T/GDAEPI 21—2023

4.2.1.2 地下水预防性监管的范围一般为有色金属矿区边界范围内，如有特殊要求的，可以适度扩大监管范围。

4.2.1.3 地下水监督性监管的范围主要为纳入监督性管理的区域，必要时可扩展到所在的地下水水文地质单元。

4.2.1.4 地下水后期监管的范围可参考预防性监管范围，必要时可包括可能对矿区周边地下水、地表水及土壤产生影响的范围以及治理修复工程影响的区域范围。

#### 4.2.2 监管对象

##### 4.2.2.1 地下水

需要监管的地下水主要是有色金属矿区防治与修复工程影响范围内的包气带水、潜水或经地下径流汇流到下游汇集区的浅层地下水，对于污染较重并疑似深层地下水可能受到污染或地质结构有利于污染物向深层土壤迁移的区域内的深层地下水也要考虑。

##### 4.2.2.2 地表水

需要监管的地表水主要为场地边界内流经或汇集的地表水，对于污染较重或防治修复过程中可能影响流经场地下游或周边地表水的也要考虑影响区内的地表水。

##### 4.2.2.3 土壤

防治与修复工程前后期监管及监督性监管的土壤主要包括矿区采选区的表层土壤，如是硇采的，还要考虑采集面的土壤，在工程实施过程监管的土壤包括表层和深层土壤，具体的深度划分应根据环境调查时的结论及工程施工设计确定。

##### 4.2.2.4 废弃物

过程监管的对象还应考虑相关的废弃物，包括矿区内的采矿废石、废渣、尾矿库的尾矿砂，残留在废弃设施、容器及矿井内的固态、半固态及液态化学物质以及防治与修复过程中排放的废弃物、废水、废渣等。

### 5 工程实施过程的环境监管

#### 5.1 可行性分析

##### 5.1.1 技术可行性

分析评估有色金属矿区地下水防治与修复工程（以下简称“防治与修复工程”）的技术可行性，可采用实验室小试、现场中试和模拟分析评估等方法分析评估治理、修复工程设计方案、技术筛选、施工方案等的技术可行性，具体可参照《地下水污染修复（防控）工作指南（试行）》执行。

##### 5.1.2 环境影响的可接受性

对防治与修复工程施工期、运行期的环境影响进行总体评价。如近期开展了环境影响评价的，可参考环境影响评价报告书（表）的相关内容和结论判断环境影响的可接受性；未开展的，可参照HJ 2.1、HJ 19、HJ 610及HJ 964 等相关内容和要求进行环境影响分析，根据分析结果判断防治与修复工程的环境影响可接受性。



### 5.1.3 环境目标的可达性

通常根据防治与修复工程设计方案、施工方案等确定的环境目标来评价可达性。分为以下几种情形：

- 没有设定地下水目标的，根据有色金属矿区的位置和功能选择不同的控制目标，农田灌溉、矿泉水等功能区域的地下水可参考 GB 8537 等相关标准制定目标；设定地下水目标的，根据地下水环境目标进行地下水污染修复；
- 不具有饮用、灌溉等地下水使用功能且不影响水环境功能的地下水污染区域，采用风险评估方法确定风险防控目标，风险评估模型可采用 HJ 25.3 和《地下水污染健康风险评估工作指南》中的模型；
- 地表水环境的评价目标根据监管水体的水环境功能区来确定，未划定水环境功能区的可根据实际功能来确定需要达到的水质目标；
- 土壤环境目标可参照土地利用规划功能确定。

注：参考工程验收报告和工程实施效果评估报告相关内容进行目标可达性分析，必要时开展现场探勘和采样监测分析，根据地下水调查监测数据及趋势预测结果开展工程运行状况分析，判断矿区地下水修复工程的目标可达性。

## 5.2 工程实施阶段的环境监测

### 5.2.1 工程施工和运行阶段的环境监测

- 5.2.1.1 对防治与修复工程运行情况进行维护，开展运行过程中的监测，确定监测指标，设置监测井和采样点。
- 5.2.1.2 地下水建井、布点、采样可参照《地下水污染修复（防控）工作指南（试行）》第七章和 HJ 164—2020 关于矿山地下水的相关要求执行。
- 5.2.1.3 监测指标除了常规指标外，还应选择特征污染物，可采用工程设计、施工方案中确定的相关目标指标，监测标准和方法参照 GB/T 14848 执行。
- 5.2.1.4 一般情况下，矿区内或周边有地表水流经的，要同步采集地表水水样，采样和分析方法参照 HJ/T 91.2 执行。
- 5.2.1.5 开展土壤的采样分析工作，采样和分析方法可参照 HJ/T 166 执行。
- 5.2.1.6 开展废弃物的采样分析工作，固体废弃参照 HJ/T 20 执行；废水采样和分析方法参照 HJ/T 91.2 执行。
- 5.2.1.7 在防治与修复工程运行初期，地下水宜采用较高的监测频次，一般每半个月一次；运行稳定期可适当降低监测频次，可选择每个月一次；运行后期可按季度进行监测，每个季度一次。若出现防治效果低于预期、污染扩散等情况，应适当提高监测频次。地表水和土壤采样可在工程运行前、后采样监测两次。

### 5.2.2 工程验收和评估阶段的环境监测

- 5.2.2.1 有色金属矿区地下水工程验收和评估阶段地下水的采样井尽量利用现有的地下水环境监测井（以下简称“监测井”），可在预防性监测、监督性监测及治理与修复工程施工、运行阶段建设监测井中选择，必要时再参照 HJ 164—2020 中关于矿山监测的内容和要求建设新井。
- 5.2.2.2 采样点的数量根据工程性质、所涉及范围、主要污染物类型及污染程度确定，通常情况下在修复区域上游采样点不少于 1 个，修复区域内采样点不少于 3 个，修复区域下游采样点不少于 2 个，对于非连续区域则依照不同区域进行考虑，对于应增加额外地下水监测点位的项目，可按 HJ 164—2020 的要求执行。

T/GDAEPI 21—2023

5.2.2.3 在工程施工和运行过程中应避免直接向污染水体投加有毒有害物质，避免对周围地下水和土壤环境造成二次污染。必要时在工程验收和评估结果的地下水监测中增加所使用化学药剂的监测。

5.2.2.4 工程验收和评估阶段的地表水和土壤监测参考工程施工、运行阶段。

### 5.3 工程实施的环境效果评价

防治与修复工程实施的环境效果评价内容和方法可参照T/GDAEPI 20—2023。效果评估单位和防治与修复单位不能为同一家单位。

批注 [A1]: 考虑此处是否加上年份

### 5.4 工程的环境效益评价

#### 5.4.1 评价内容

环境效益评价内容主要包括对地下水污染阻断、防控和水质改善的效果，对水文地质脆弱性改善，风险防控的效果以及对周边地表水质量提升的效果等。

#### 5.4.2 评价方法

评价方法有定性和定量两方面，通常结合使用。定性方法主要是对改善效果、效益的定性判断和结论性的描述，定量方法可采用对比分析、指标评价、技术经济计算和环境价值评价方法等。

### 5.5 工程验收后的环境监管

#### 5.5.1 基本要求

防治与修复工程施工完成后，应开展工程运行维护、运行监测、趋势预测和运行状况分析等。防治与修复工程验收通过后至少再监测两年，结合后期监管，形成完整的过程监管。

#### 5.5.2 监管频次和方法

监测井可利用防治与修复工程施工、运行阶段建设监测井，原则上采样频次为每季度一次，两个批次之间间隔不应少于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。采样、监测方法参照HJ 164—2020的要求执行。

## 6 地下水污染预防性监管

### 6.1 监管主体

在产的有色金属矿区地下水污染预防性监管一般由经营方负责委托具有地下水监测资质的第三方单位按要求开展监管工作；废弃的或无主的有色金属矿山，可由生态环境或自然资源主管部门根据实际情况安排地下水污染预防性监管工作。

### 6.2 现场调查

考察有色金属矿区现状，特别关注前期地块环境调查和风险评估后发生的重大变化，以及周边地下水体的变化情况。地下水预防性监管的范围为有色金属矿区边界内，根据实际需要进行区域水文地质和环境现状调查，具体可参照T/GDAEPI 17—2023执行。

批注 [A2]: 考虑此处是否加上年份

### 6.3 监测分析

#### 6.3.1 监测点布设要求

有色金属矿区地下水监测点布设主要遵循以下要求：

- 地下水污染预防性监测点总体上能反映监测区域内的地下水环境质量状况；
- 地下水监测点不宜变动，尽可能保持监测数据的连续性。综合考虑监测井成井方法、当前科技发展和监测技术水平等因素，考虑实际采样的可行性，使地下水监测点布设切实可行；
- 定期（如每 5 年）对地下水水质监测网的运行状况进行一次调查评价，根据最新情况对地下水水质监测网进行优化调整；
- 地表水监测点的布设宜参考 HJ/T 91.2 执行。

### 6.3.2 地下水监测点布设位置

地下水污染预防性监测点一般应布设在矿井的主要含水层或受矿区活动影响较为显著的含水层中，当存在多个含水层时，应根据监测目的与要求、水文地质条件、区域大小等分层布设监测点。在以含水层地下水为主要供水水源的地区、地下水污染严重地区以及地下水水质特征差异显著的区域应布设监测井。可考虑监测区域、水文地质单元、水文地质条件等差异进行监测点的分类布设：

- a) 对于面积较大的监测区域，沿地下水流向为主与垂直地下水流向为辅相结合布设监测点；
- b) 对同一个水文地质单元，可根据地下水的补给、径流、排泄条件布设控制性监测点；
- c) 在尾矿库所在水文地质单元的地下水流向上游、两侧及下游分别布设监测点，以评估地下水的污染状况；
- d) 岩溶区监测点的布设重点在于追踪地下暗河出入口和主要含水层，按地下河系统径流网形状和规模布设监测点，在主管道与支管道间的补给、径流区适当布设监测点，在重大或潜在的污染源分布区适当加密地下水监测点；
- e) 裂隙发育区的监测点尽量布设在相互连通的裂隙网络上。

### 6.3.3 地下水监测点布设方法

根据有色金属地下水类型分别采用不同的方法开展地下水监测点的布设。

- a) 孔隙水和风化裂隙水监测点布设方法如下：
  - 1) 采矿区、分选区和尾矿库位于同一个水文地质单元的，在矿山影响区上游边界布设 1 个对照监测点，不少于 3 个污染扩散监测点，地下水下游及两侧的地下水监测点均不应少于 1 个；
  - 2) 尾矿库下游 30 m~50 m 处布设 1 个监测点，以评价尾矿库对地下水的影响；
  - 3) 采矿区、分选区和尾矿库位于不同水文地质单元的，在矿山影响区和尾矿库影响区上游边界 30 m~50 m 处布设 2 个对照监测点，不少于 3 个污染扩散监测点，地下水下游及两侧的地下水监测点均不少于 1 个；
  - 4) 采矿区与分选区分别设置 1 个监测点以确定其是否对地下水产生影响，如果地下水已污染，应加密布设监测点，以确定地下水的污染范围。
- b) 岩溶水监测点布设方法参照 HJ 164—2020。
- c) 构造裂隙水：参见岩溶水的布点方法。

### 6.3.4 地下水环境监测井建设与管理

#### 6.3.4.1 监测井建设

监测井的建设要求如下：

## T/GDAEPI 21—2023

- a) 监测井建设应遵循一井一设计，一井一编码的原则。在充分搜集掌握拟建监测井地区有关资料和现场踏勘基础上，因地制宜，科学设计，所有监测井统一编码；
- b) 监测井建设深度应满足监测目标要求。监测目标层与其他含水层之间应做好止水，监测井滤水管不应越层，监测井不应穿透目标含水层下隔水层的底板；
- c) 监测井的结构类型包括单管单层监测井、单管多层监测井、巢式监测井、丛式监测井、连续多通道监测井；
- d) 监测井建设包括监测井设计、施工、成井、抽水试验等内容，参照 DZ/T 0270 相关要求执行。

### 6.3.4.2 监测井管理

监测井管理要求如下：

- a) 对每个监测井建立环境监测井基本情况表，具体内容参见附录 A。监测井的撤销、变更情况应记入原监测井的基本情况表内，新换监测井应重新填写环境监测井基本情况表；
- b) 每年应指派专人对监测井的设施进行维护，设施一经损坏，应及时修复；
- c) 每年测量监测井井深一次，当监测井内淤积物淤没滤水管，应及时清淤；
- d) 每 2 年对监测井进行一次透水灵敏度试验；
- e) 当向井内注入灌水段 1 m 井管容积的水量，水位复原时间超过 15 min 时，应进行洗井；井口固定点标志和孔口保护帽等发生移位或损坏时，应及时修复。

### 6.3.5 监测采样

#### 6.3.5.1 采样方法

地下水的采样方法、使用的仪器设备可参照以下有关标准规范执行。

- a) 地下水采样方法参照 HJ 164—2020 附录 C。已有管路监测井采样法适用于地面已连接了提水管路的监测井的采样，普通监测井采样法适用于常规监测井的采样，深层/大口径监测微洗法适用于深层地下水的采样。
- b) 若无同类型地下水采样仪器设备，可采用经国家或国际标准认定的等效仪器设备。
- c) 地表水和土壤的采样方法可分别参照 HJ/T 91.2、HJ/T 166 执行。

#### 6.3.5.2 地下水样品采集

地下水样品采集要求如下：

- a) 样品采集一般按照挥发性有机物（VOCs）、半挥发性有机物（SVOCs）、重金属和普通无机物的顺序采集，具体参照 HJ 1019 及 HJ 164—2020 附录 C 的采样过程；
- b) 有色金属矿区预防性监测采集的地下水、地表水及土壤样品的保存、运输、交接和储存参照 HJ 164—2020、HJ/T 91.2、HJ/T 166 的相关规定执行。

### 6.3.6 监测项目和分析方法

#### 6.3.6.1 监测项目

有色金属矿区地下水、土壤等的监测项目可根据情况，参照相关标准中的项目选择使用。

- a) 地下水监测项目主要参照 GB/T 14848 的常规项目和特征污染物。监测项目以常规项目为主，不同矿区可在此基础上，根据当地的实际情况选择特征污染物。同时为便于水化学分析审核，

还应补充钾、钙、镁、重碳酸根、碳酸根、游离二氧化碳等项目，一般指标和常规特征指标具体参见附录 B。

- b) 地下水环境监测时的气温、地下水水位、水温、pH、溶解氧、电导率、氧化还原电位、嗅、味、浑浊度、肉眼可见物等监测项目为每次监测的现场必测项目。
- c) 地下水中的潜在特征项目参照 HJ 164—2020 相关要求确定，可根据地下水污染实际情况选择硝酸盐、亚硝酸盐、硫化物、氟化物、氰化物、石油类、铅、汞、镉、铬、类金属砷、铊、镍、锰、锑、铜、锌、银、钒、钴等指标。
- d) 地表水监测项目一般参照 GB 3838 的常规检测项目选择，必要时根据有色金属主要的金属种类增加相关指标检测。
- e) 土壤监测项目参照 GB 36600，测定基本项目并选测其他项目。
- f) 所选监测项目应有国家或行业标准分析方法、行业监测技术规范、行业统一分析方法。

#### 6.3.6.2 分析方法

监测项目分析方法应优先选用国家或行业标准方法。尚无国家或行业标准分析方法时，可选用行业统一分析方法或等效分析方法，但应按照 HJ 168 的要求进行方法确认和验证，方法检出限、测定下限、准确度和精密度应满足地下水环境监测要求。

#### 6.3.7 质量保证和质量控制

##### 6.3.7.1 质量保证

从事地下水监测的组织机构、监测人员、现场监测仪器、实验室分析仪器与设备等按照 RB/T 214 和 HJ 630 的有关内容执行。采样人员应通过岗前培训，考核合格后上岗，切实掌握地下水采样技术，熟知采样器具的使用和样品固定、保存和运输条件等。

##### 6.3.7.2 质量控制

采样前，采样器具和样品容器应按不少于 3% 的比例进行质量抽检，抽检合格后方可使用；保存剂应进行空白试验，其纯度和等级应达到分析的要求。

每批次水样，应根据分析方法的质控要求采不少于 10% 的现场平行样和全程序空白样，开展部分监测项目的分析。样品数量较少时，每批次水样至少加采 1 次现场平行样和全程序空白样，与样品一起送实验室分析。

当现场平行样测定结果差异较大，或全程序空白样测定结果大于方法检出限时，应仔细检查原因，以消除现场平行样差异较大、空白值偏高的因素，必要时重新采样。

#### 6.3.8 结果分析

监测数据处理、结果分析参照 HJ 164—2020。

### 6.4 防污性能和风险评价

#### 6.4.1 地下水防污性能评价

##### 6.4.1.1 评价重点和要求

地下水防污性能评价的重点和要求如下：

- a) 在开展水文地质条件、地下水水质和包气带调查分析等基础上，进行地下水系统防污性能评价，一般划分为较好、中等、较差三个等级；
- b) 地下水系统防污性能评价应以固有防污性能评价为主，根据地区特点和评价尺度建立相应指标体系，突出主要因素；
- c) 有色金属矿区地下水防污性能评价应重点考虑降水和补给、含水层分布及地下水主径流特征、包气带岩性、结构、厚度等，同时考虑地下水和地表水的连通性，如有黏土层的要考虑其厚度、分布、性质、渗透系数等。

6.4.1.2 评价方法

有色金属地下水防污性能评价方法一般采用美国 EPA 地下水防污性能评价方法(DRASTIC) 的 GWI-D3 (1112)，具体参照附录 C。根据自然地理特征和水文地质相关数据情况，对评价指标进行优化调整，岩溶区的防污性能评价应加入岩溶发育特征因子。

6.4.2 污染负荷评价

6.4.2.1 污染负荷评价是指各种污染源对地下水产生污染的可能性，主要取决于污染源种类、数量、危害性和处置方式、迁移转化特点以及所在区域的土壤、岩层防污性能。

6.4.2.2 污染源荷载风险的计算综合考虑污染物毒性 (T)、污染源释放的可能性 (L) 与可能释放污染物的量三个方面，单个地下水污染源荷载风按式 (1) 进行计算：

$$P_i = T_i \times L_i \times Q_i \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $P_i$ ——污染源  $i$  的污染负荷指数；
- $T_i$ ——污染源  $i$  的污染物毒性；
- $L_i$ ——污染源  $i$  的污染释放可能性；
- $Q_i$ ——污染源可能释放污染物的量。

注1：地下水中部分污染物及其毒性评分参见《地下水污染防治分区划分工作指南》表2；

注2：有色金属矿采选业 $T_i$ 值一般取3，缓冲区半径推荐值为1 km。

6.4.2.3 污染源释放可能性  $L_i$  的分级标准见表 1。

表1 有色金属矿山地下水污染源释放可能性分级标准

污染源类别	$L_i$ 评分
毕产，矿井已回填	0.1
毕产，矿井未回填	0.5
在产	0.7
尾矿库或转运站有防渗	0.5
尾矿库或转运站无防渗	1

6.4.2.4 污染源可能释放污染物的量分级、评分见表 2。

表2 不同开采规模矿山可能释放污染物的量评分表

矿山开采区规模	$Q_i$ 评分
小型	3
中型	6

矿山开采区规模	Qi评分
大型	9

注：矿山规模参见《矿山生产建设规模分类一览表》（国土资发【2004】208号）

6.4.2.5 根据矿山区域内各类污染源分布和污染特征，评价综合污染源载荷等级，并依据各类污染源计算结果叠加形成污染源综合载荷，载荷综合指数计算公式：

$$P_I = \sum W_i \times P_i \dots \dots \dots (2)$$

式中：

$P_I$ ——污染源载荷综合指数；

$W_i$ ——第  $i$  类污染源类型的权重；

$P_i$ ——第  $i$  类污染源的荷载。

注1： $P_i$ 越大表明污染荷载越大。

注2：参考《地下水污染防治分区划分工作指南》表6，有色金属矿山的 $W_i$ 值一般取5。

6.4.2.6 根据有色金属矿山地下水污染源载荷评价标准对区域地下水荷载评价结果进行分级，按污染源综合指数  $PI$  由大到小一次分为高、较高、中等、较低、低 5 个等级。

表3 地下水污染源载荷评价标准

污染源载荷综合指数 $P_I$	[0,20]	(20,40]	(40,60]	(60,80]	>80
污染源载荷级别	低	较低	中等	较高	高

### 6.4.3 风险评价

6.4.3.1 地下水污染风险评价是在含水层固有脆弱性评价、污染源载荷风险、污染危害性评价的基础上进行的。将含水层固有脆弱性评价结果重新分类，污染危害性评价以地下水使用目的为分级指标，最后综合后得到地下水污染风险评价结果，一般分为低污染风险、中等污染风险和高污染风险。

6.4.3.2 有条件的有色金属矿区或认为可能存在地下水健康风险时可参照附录 D 开展评价。

### 6.5 污染应急处置

6.5.1 建立地下水环境污染事件预警和应急机制，健全地下水环境管理体系。

6.5.2 对于因有色金属矿山开采中爆炸、矿井坍塌、尾矿库溃坝等事故使得大量污染物迅速进入地下水含水层而造成的地下水污染事件或者由于对地下水环境长期不够重视、地下水环境监测和防治措施不到位或早期污染事故处理不当或重视不够造成的地下水污染事件的，应立即采取科学的应急措施，并同时向生态环境主管部门报告。

## 7 地下水污染防治和修复的监督性监管

### 7.1 监管主体

监督性监管一般由生态环境主管部门、自然资源主管部门等相关部门委托具有地下水监测资质的第三方开展。

### 7.2 分区分类监管

7.2.1 一般情况下，有色金属矿山的采矿区、分选区、冶炼区和尾矿库位于同一个水文地质单元的可

T/GDAEPI 21—2023

以统筹作为一个区进行监管，位于不同水文地质单元的应分区进行监管。

7.2.2 根据不同的有色金属矿山矿种和水文地质类型进行分类监管，对于重金属矿山主要监督重金属是否超标的问题，对于贵金属、稀有金属和稀土金属矿山主要监管地下水的特征污染物及采选过程中投加的有毒有害物质是否超标。

7.2.3 岩溶区和裂隙发育区参照 HJ 164—2020 要求，根据实际情况进行布点、采样。

### 7.3 监督性监测

#### 7.3.1 采样和分析方法

7.3.1.1 有色金属矿山地下水的监督性监测布点方法可参照 HJ 164—2020 中有关“矿山开采区”的指引。

7.3.1.2 在矿山开采区、尾矿库等区域，应在地下水污染源的上游、中心、两侧及下游区分别布设监测点，以评估地下水的污染状况。

7.3.1.3 现场监测水位、水温、pH 值、电导率、浊度、氧化还原电位、色、嗅、味、肉眼可见物、特征污染物等指标，同时测定气温、描述天气状况、收集近期降水情况。

7.3.1.4 现有的日常监测井或在治理、修复工程实施过程中建设的地下水井可以满足监督需要的，尽量使用已有的，必要时再建设新井。

#### 7.3.2 监测指标

7.3.2.1 例行的监督性监测指标与预防性监管监测指标保持一致，必要时可增删一些指标。

7.3.2.2 地下水污染防治与修复工程的监督性监测指标可参考验收通过后的监测指标，参照 GB/T 14848 标准进行评价。

#### 7.3.3 结果分析

编制监测报表（或报告），与整理好的原始资料一起装订成册，存档，妥善保管。监测报表（或报告）格式参见 HJ 164—2020 附录 E。

### 7.4 地下水质量动态变化评价

根据监督性监测结果，分析地下水环境质量状况及动态变化和区域变化，得出结论。对于超标点位和指标提出整改建议。

## 8 地下水防治与修复的后期监管

### 8.1 总体要求

根据有色金属矿区地下水污染防治的需要，实施风险管控和长期监测的矿区地块原则上应开展后期动态环境监管。

### 8.2 地下水环境后期监测

8.2.1 有色金属矿区实施风险管控的区域应开展地下水环境后期监测。

8.2.2 在预防性监管、工程监管和监督性监管中建立的监测点位中选择符合要求的点、地下井或钻孔作为地下水环境长期监管的监测点使用，定期或不定期开展采样监测。

8.2.3 必要时也可进行土壤样品的采集和监测，监测井位置应优先布设在污染物浓度高的区域、敏感



点所处的位置等。

8.2.4 采样频次和监测指标可根据污染防治重点、风险防控要求等确定，一般2年采样监测一次。

### 8.3 地下水回顾性评估监测

8.3.1 防治与修复工程完成验收后，在特定时间范围内，为评价治理修复后对地下水、地表水及土壤的环境影响开展环境监测，对矿区原位治理修复工程措施的长期效果开展验证性环境监测。

8.3.2 监测指标与地下水防治与修复工程设定的目标指标基本保持一致。

8.3.3 监测时间可定在1年~2年内，涵盖丰水期、平水期、枯水期采样一次。

### 8.4 地下水污染监管措施

8.4.1 有色金属矿区经营方应通过技术和设备更新、工艺流程改造、建立相关制度、机制、实施科学管理等，从源头上减少地下水中污染物的排放。制定后期监管计划和方案，开展日常监管，防止污染事件发生。

8.4.2 地方主管部门可通过制定相应的制度来防止地下水的污染蔓延，包括限制地块使用和地下水使用方式，划定防控区，通知公告所在地块的地下水风险等。

8.4.3 地下水环境监管部门除了实施监督性监测外，应加强地下水环境保护执法监管，提高地下水环境保护执法装备水平，重点加强有色金属采选区、排石场（渣场）、尾矿库的地下水环境监察。

附 录 A  
(资料性)  
地下水环境监测井基本情况表

表A.1给出了地下水环境监测井基本情况表的页面格式。

表A.1 地下水环境监测井基本情况表

监测井统一编号		原编号		
地理位置		时间	年 月 日	
地理坐标	经度: ____, 纬度: ____			
所属单位		联系人	电话	
所属流域		水文地质单元	地下水类型	
地面高程 (m)		测点高程 (m)	成井深度 (m)	
孔口直径 (mm)		孔底直径 (mm)	井管类型	
含水层埋藏深度 (m)		水位埋深 (m)	开筛深度 (m)	
监测手段		含水层地层代号	地下水类型	
监测内容		矿化度 (g/L)	水质类型	
监测频次		钻探施工单位	钻探竣工日期	年 月 日
监测仪器安装日期	年 月 日			
备注:				

填表人:

审核人:

填表日期: 年 月 日

附录 B  
(资料性)

有色金属矿区地下水监测一般指标和常规特征指标

表B.1给出了有色金属矿区地下水监测一般指标和常规特征指标类别和名称。

表B.1 有色金属矿区地下水监测一般指标和常规特征指标

所属行业	指标类别	指标名称
有色金属矿山采选业	一般指标	<p><b>一般化学指标：</b>总硬度（以CaCO<sub>3</sub>计）、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、铁、锰、铜、锌、铝、挥发性酚类（以苯酚计）、阴离子表面活性剂、耗氧量（COD<sub>Mn</sub>法，以O<sub>2</sub>计）、氨氮（以N计）、硫化物、钠；</p> <p><b>微生物指标：</b>总大肠菌群、菌落总数；</p> <p><b>毒理学指标：</b>硝酸盐（以N计）、氰化物、氯化物、碘化物、汞、砷、硒、铬、镉、铅、三氯甲烷、四氯化碳、苯、甲苯；</p> <p><b>挥发性有机物（选测）：</b>四氯化碳、氯仿（三氯甲烷）、氯甲烷、1,1-二氯乙烷、1,2-二乙烷、1,1-二氯乙烯、顺-1,2-二氯乙烯、反-1,2-二氯乙烯、二氯甲烷、1,2-二氯丙烷、1,1,1,2-四氯乙烷、1,1,2,2-四氯乙烷、四氯乙烯、1,1,1-三氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、三氯乙烯、1,2,3-三氯丙烷、氯乙烯、苯、氯苯、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、乙苯、苯乙烯、甲苯、间二甲苯+对二甲苯、邻二甲苯；</p> <p><b>半挥发性有机物（选测）：</b>硝基苯、苯胺、2-氯酚、苯并[a]蒽、苯并[a]芘、苯并[b]蒽、苯并[k]蒽、蒽、二苯并[a,h]蒽、茚并[1,2,3-cd]芘、萘。</p>
	常规特征指标	石油烃、铍、硼、镉、钡、钴、钼、银、铊、总α放射性、总β放射性

### 附录 C (资料性)

#### 基于美国 EPA 的 DRASTIC 指标体系法的有色金属地下水防污性能评价

##### C.1 评价因子的选择及分级

根据 DRASTIC 模型,地下水系统防污性能主要受地下水埋深(D)、地下水净补给量(R)、含水层介质(A)、土壤介质(S)、地形地貌(T)、包气带介质(I)和水力传导系数(C)等因素影响。选择这7项评价因子对地下水防污性能进行评价。各评价因子评分标准见表C.1。

表C.1 有色金属矿区地下水防污性能评价指标等级评分标准

评价因子	范围/类型	等级	评价因子	范围/类型	等级	典型等级
降雨入补给 R(mm/a)	0~50	1	含水层介质A	块状页岩	1~3	2
	50~100	3		变质岩、火成岩	2~5	3
	100~175	6		风化变质岩、火成岩	3~5	4
	175~250	8		薄层状砂岩、灰岩	5~9	6
	>250	9		页岩	5~9	6
地下水埋深D (m)	0~1.5	10		块状砂岩	4~9	6
	1.5~3	9		块状灰岩	4~9	6
	3~4.5	8		砂和砂砾层	6~9	8
	4.5~9	7		玄武岩	2~10	9
	9~15	5		岩溶灰岩	9~10	10
	15~22.5	3	包气带介质I	砂土、粘土	1~2	1
	22.5~30	2		页岩	2~5	3
	>30	1		灰岩	2~7	6
地形坡度T (%)	0~2	10		砂岩	4~8	6
	2~6	9		层状灰岩、砂岩、页岩	4~8	6
	6~12	5		变质岩、火成岩	2~8	4
	12~18	3	砂和砂砾层	6~9	8	
	>18	1	玄武岩	2~10	9	
土壤介质S	薄或缺失	10	渗透系数C	岩溶发育的灰岩	6~9	10
	砂砾层	10		0~4.1	1	—
	砂	9		4.1~12.2	2	
	收缩或凝集的粘土	7		12.2~28.5	4	
	砂质壤土	6		28.5~40.7	6	
	砂质壤土	5		40.7~81.5	8	
	粉砂质壤土	4		>81.5	10	
	粘土质壤土	3		—	—	
非胀缩或非凝集的粘土	1	—		—		

如无法获得含水层的净补给量的，可在DRASTIC方法所采用参数的基础上，根据可获得的资料和具体的水文地质条件，以降雨入渗补给量代替含水层的净补给量。

### C.2 权重的确定

直接参考DRASTIC方法中给定的权重，即地下水埋深、含水层的净补给量（或降雨入渗补给量）、含水层介质、土壤介质、地形坡度、包气带介质和含水层渗透系数的权重值分别为5,4,3,2,1,5,3。

### C.3 指标计算

DRASTIC地下水系统防污性能指标由下式确定：

$$\text{DRASTIC} = 5 \times D + 4 \times R + 3 \times A + 2 \times S + 1 \times T + 5 \times I + 3 \times C \dots\dots\dots (C.1)$$

指标越高的区域，表明则该区的地下水越易于被污染，反之亦然。DRASTIC指标提供的仅是相对概念，而不是绝对的，最小指标为23，最大指标为226，一般DRASTIC指标值在50~200之间，为计算方便，将最大值折算为100，最小值约为10。

### C.4 等级的划分

根据DRASTIC指标将地下水防污性能划分为5个等级，见表C.2。

表C.2 地下水防污性能评价等级划分标准

防污性能级别	I	II	III	IV	V
地下水防污指标值	<20	20~40	40~60	60~80	80~100
防污性能	好	较好	中等	较差	差

### C.5 评价程序

采用DRASTIC指标来评价地下水防污性能的工作程序一般为：野外调查和资料收集、划分评价单元、确定评价区指标参数、建立评分体系和权重体系、计算评价指标值、防污性能区域划分、绘制脆弱性评价图。

附录 D  
(资料性)

有色金属矿区地下水重金属环境健康风险评价方法和分级

D.1 致癌性重金属污染物健康风险评价模式，按式 (D.1) 进行计算。

$$R_c = \sum [1 - \exp(-D_i Q_i) / W] \dots \dots \dots (D.1)$$

批注 [A3]: 请核对此公式是否正确。

式中:

$R_c$ ——致癌性重金属所致健康危害的年风险;

$D_i$ ——致癌性重金属*i*对人体的日均暴露剂量, 单位为 $\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ ;

批注 [A4]: 请补充所以公式的单位的中文名称。

$Q_i$ ——致癌性重金属*i*的致癌强度系数, 单位为 $\text{kg} \cdot (\text{d} \cdot \text{mg})^{-1}$ ;

$W$ ——人均体重, 单位为 $\text{kg}$ 。

D.2 非致癌性重金属污染物健康风险评价模式，按式 (D.2)、(D.3) 进行计算。

$$R_n = (D_i / R_{FDi}) \times 10^{-6} / W \dots \dots \dots (D.2)$$

$$D_i = P p_i / W \dots \dots \dots (D.3)$$

式中:

$R_n$ ——非致癌性重金属所致健康危害的年风险;

$R_{FDi}$ ——非致癌性重金属*i*通过饮用水途径被人体摄入的参考剂量, 单位为 $\text{mg} \cdot (\text{kg} \cdot \text{d})^{-1}$ ;

$P$ ——成人每天饮水量, 单位为 $\text{L}$ ;

$p_i$ ——水体重金属浓度, 单位为 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;

$W$ ——人均体重, 单位为 $\text{kg}$ 。

D.3 重金属通过饮用水途径对人体产生的总健康风险，按式 (D.4) 进行计算。

$$R_{\text{总}} = R_c + R_n \dots \dots \dots (D.4)$$

式中:

$R_{\text{总}}$ ——重金属通过饮用水途径对人体产生的总健康风险;

$R_c$ ——致癌性重金属所致健康危害的年风险;

$R_n$ ——非致癌性重金属所致健康危害的年风险。

D.4 有色金属矿山地下水重金属环境健康风险评价结果可分为五个等级，见表 D.1。

表D.1 重金属环境健康风险评价等级划分标准

地下水环境健康风险水平	$< 1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2}$	$> 1 \times 10^{-2}$
健康等级	无健康风险	较低健康风险	中等健康风险	较高健康风险	高健康风险

### 参 考 文 献

- [1] GB 3838 地表水环境质量标准
- [2] GB 8537 食品安全国家标准 饮用天然矿泉水
- [3] GB/T 14848 地下水质量标准
- [4] GB 36600 土壤环境质量 建设用土壤污染风险管控标准（试行）
- [5] DZ/T 0270 地下水监测井建设规范
- [6] DZ/T 0282—2015 水文地质调查规范（1:50000）
- [7] HJ 2.1 环境影响评价技术导则 总纲
- [8] HJ 19 环境影响评价技术导则 生态影响
- [9] HJ/T 20 工业固体废物采样制样技术规范
- [10] HJ 25.2 建设用土壤污染风险管控和修复监测技术导则
- [11] HJ 25.3 建设用土壤污染风险评估技术导则
- [12] HJ/T 91.2 地表水环境质量监测技术规范
- [13] HJ 164—2020 地下水环境监测技术规范
- [14] HJ/T 166 土壤环境监测技术规范
- [16] HJ 610 环境影响评价技术导则 地下水环境
- [17] HJ 964 环境影响评价技术导则 土壤环境(试行)
- [18] HJ 1019 地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则
- [19] GWI-D3（1112） 地下水脆弱性评价技术要求
- [20] T/GDAEPI 17—2023 《有色金属矿区地下水污染调查技术规范》
- [21] T/GDAEPI 20—2023 《有色金属矿区地下水污染防治效果评价技术规范》
- [22] 《地下水污染修复（防控）工作指南（试行）》（环办函〔2014〕99号）
- [23] 《地下水污染防治分区划分工作指南》（环办土壤函〔2019〕770号）
- [24] 《地下水污染健康风险评估工作指南》（环办土壤〔2019〕770号）
- [25] 《矿山生产建设规模分类一览表》（国土资发〔2004〕208号）