

### 典型重金属污染地块风险管控技术指南

Technical guideline on risk management and control of nonferrous metal industry contaminated sites based on heavy metal leaching risks

地方标准信息服务平台

2023 - 02 - 17 发布

2023 - 03 - 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 工作流程 .....	2
5 环境调查 .....	3
6 风险评估 .....	3
7 风险管控 .....	4
附 录 A （规范性） 土壤重金属水体生态风险评估 .....	6

地方标准信息服务平台

## 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、中节能中咨华瑞科技有限公司、广西壮族自治区农业科学院。

本文件主要起草人：吴昊、杜军艳、李杨、吴锡松、王浩、罗栋源、胡钧铭、陈婷、狄瑜、高何凤、黄艳红、姜朵朵、杨子杰、卢玉秋、李婷婷、周浪、方晴、吴海霞、陈茜茜、刘稳福。

地方标准信息服务平台

# 典型重金属污染地块风险管控技术指南

## 1 范围

本文件规定了典型重金属污染地块风险管控的术语和定义、工作流程、环境调查、风险评估和风险管控。

本文件适用于广西壮族自治区行政区域内以生态恢复为目标的涉砷、铅、镉、锌等典型重金属污染地块风险管控。

## 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 3838 地表水环境质量标准
- GB 5084 农田灌溉水质标准
- GB 18598 危险废物填埋污染控制标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准
- GB 50014 室外排水设计规范
- 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
- HJ 557 固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**再开发利用地块** land planned for redevelopment

根据土地利用规划，未来使用功能包括 GB 36600 中建设用地划分类别的地块。

### 3.2

**暂不开发利用地块** land not planned for redevelopment

现阶段暂不开发利用或现阶段不具备治理修复条件的地块。

### 3.3

**不再开发利用地块** land planned for ecological restoration

以土地复垦和生态恢复为主，未来不再开发利用的地块。

注：如关闭的矿区、历史遗留的砒霜厂地块等。

3.4

**暴露浓度 exposure concentration**

地块内关注污染物经地表径流或地下迁移，最终进入附近地表水体或农田时的浓度。

3.5

**危害商 hazard quotient**

用于表征地块污染物危害地表水体或农田的水平，地块关注污染物暴露浓度与其相应的地表水环境质量标准或农田灌溉水质标准的比值。

4 工作流程

4.1 工作流程见图 1。

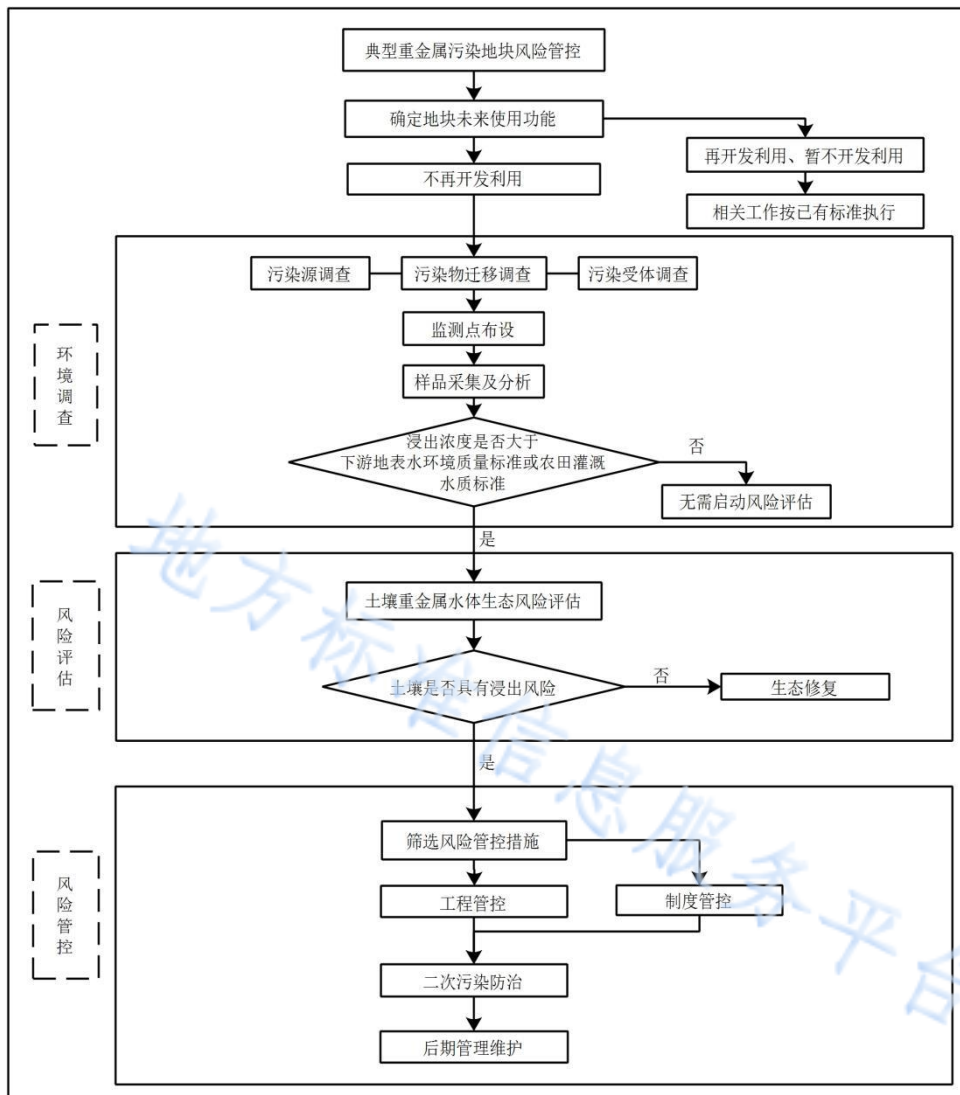


图 1 典型重金属污染土壤风险管控流程图

4.2 收集地块的规划资料，根据地块规划用途和未来使用功能，将地块分为再开发利用、暂不开发利用和不再开发利用三种类型。对不同类型的地块提出有针对性的环境调查和风险评估技术要求。

4.3 再开发利用地块和暂不开发利用地块的环境调查与监测、风险评估和风险管控工作按照 HJ 25.1、HJ 25.2、HJ 25.3、HJ 25.5 执行。

## 5 环境调查

### 5.1 调查方法

#### 5.1.1 污染源调查

通过资料收集分析、人员访谈、现场踏勘等形式，获取调查地块水文地质特征、土地利用现状、可能产生污染物的生产和贮存等基本信息，识别和判断潜在的污染源，具体按照 HJ 25.1 执行。

#### 5.1.2 污染物迁移调查

应在污染源调查结束后，识别污染物迁移途径，主要是经地表径流和地下迁移。

#### 5.1.3 污染源受体调查

根据污染物迁移途径，识别可能的污染受体，主要是地块内流经的或汇集的地表水、农田。

### 5.2 监测点布设

对污染源应按照疑似污染程度筛选不少于 2 个布点区域，每个布点区域原则上至少设置 2 个土壤采样点，布点位置优先选择布点区域内生产设施、罐槽、污染泄漏点等疑似污染源所在位置；采样深度扣除地表非土壤硬化层厚度，每个采样点采集 0 m~0.5 m 表层土壤样品，0.5 m 以下下层土壤样品建议 0.5 m~6 m 土壤采样，间隔不超过 2 m；采样避免造成安全隐患和二次污染，其他要求按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 执行。

### 5.3 样品采集及分析

样品采集和其他过程的质量控制与质量保证技术要求按照 HJ 25.1、HJ 25.2 相关要求执行，对采集的土壤样品按照 HJ 557 规定的方法进行浸出试验。

### 5.4 调查结果

调查结果若土壤中任一污染物浸出浓度大于 GB 3838 规定的地块下游地表水环境质量标准或 GB 5084 规定的农田灌溉水质标准时，启动风险评估，反之，无需启动风险评估。

## 6 风险评估

按照附录 A 对污染土壤开展土壤重金属水体生态风险评估，采用公式 A.1 和公式 A.8 来计算地表水体的暴露浓度，污染土壤浸出试验结果取场地最大浸出浓度。经生态风险评估计算后，采用危害商对土壤浸出的风险进行评价：

- a) 危害商=暴露浓度/地表水环境质量标准（或农田灌溉水质标准）；
- b) 当计算得到危害商>1 时，说明土壤具有浸出风险，需采取风险管控措施；

- c) 当危害商 $\leq 1$ 时,说明土壤不具有浸出风险,采取生态恢复措施。

## 7 风险管控

### 7.1 制度管控

#### 7.1.1 工作目标

通过禁止地块开发利用、防止无关人员进入地块内活动、定时公开地块信息等方式降低人群接触污染物的潜在风险,有效降低风险管控工程不确定性带来的长期风险。

#### 7.1.2 管控措施

7.1.2.1 设置管控区域边界围栏,不进行地块开发利用,防止无关人员进入场地或污染区域。

7.1.2.2 设置场地信息风险标识牌,信息公告牌内容包含场地名称及管控区域示意图、风险管控工程概况、场地风险管控要求及禁令、场地监督与管理联系方式等。

7.1.2.3 进行地块资料管理,由地块使用权人保存档案,并安排专员负责相关资料整理归纳建档,资料包括:地块调查与风险评估报告、风险管控方案、风险管控实施记录、动态监测计划与监测报告、动态监测设施建设与维护记录等。

7.1.2.4 开展长期监测,定期发布监测公告,通过公告的方式提供有关地块的使用历史,定期公开土壤和地下水污染状况等,帮助公众了解污染地块的具体情况,杜绝风险管控工程遭受破坏。

### 7.2 工程管控

#### 7.2.1 工作目标

采用阻隔、覆盖等工程措施,控制污染物迁移或阻断污染物暴露途径,降低和消除场地污染物对人体健康和环境的风险。

#### 7.2.2 固化/稳定化

7.2.2.1 采用实验室小试确定不同固化/稳定化药剂的修复效果及其能否满足地块特定性能参数的需要,比对各药剂的成本与操作难易度,明确各种处理方法所得到的固化产物其机械强度随时间的变化特征,评估固化/稳定化产物的理化特性、均匀程度、体积变化以及长期性能。

7.2.2.2 小试完成后,选择综合效果最佳的技术方案进行现场中试,验证实验室小试所确定的性能参数的实际效果与大规模施工时产出的固化/稳定化产物性能是否能够保持一致。原位修复应确保修复单元边界的重合程度能够使粘合剂充分覆盖目标区域,评估不同空间区域内修复效果的变化情况和混合过程是否存在污染土壤与粘合剂分离的情况等。异位修复要确保现场前处理的土壤均匀程度与小试期间土壤的均匀程度保持一致。

7.2.2.3 经固化/稳定化处理后,土壤浸出浓度小于场地风险控制值。场地风险控制值使用公式 A.7 和公式 A.13 计算。

#### 7.2.3 阻隔填埋

根据地块污染特征、管控目标、水文地质及工程地质条件和工程造价等因素,综合比选确定工程阻隔填埋技术类型,阻隔填埋技术要求按照GB 18598、GB 18599相关规定执行。



#### 7.2.4 堵截与收集

污染地块表层土壤污染物采取堵截与收集措施。堵截范围根据地块污染范围、现场踏勘情况确定，采用明渠、排水沟、收集池等，并采取防渗措施。现场设置收集池的，应对收集池内水质进行检测，并根据检测结果确定处置方式。

#### 7.3 二次污染防治

风险管控的每个工作环节都应尽量减少其对环境的影响，遵照国家和广西建设工程施工现场环境保护的相关规定做好环境保护工作，避免对环境造成二次污染。重点包括：

- a) 杜绝危险废物清挖、转运过程中的逸散、遗漏；
- b) 控制固、液、气态污染物的无组织排放；
- c) 执行废物减量化、最小化要求；
- d) 尽量减少运输活动；
- e) 做好地块内废水的达标处理；
- f) 交通运输工具和其他设备、设施应及时清洗，避免交叉污染。

#### 7.4 后续管理

根据实际情况实施地块风险管控，按照相关规定开展后续管理，同时结合地块污染特征和地块所处环境条件，有针对性地制定风险管控后续监测计划及效果评估。相关技术要求按照HJ 25.2、HJ 25.3、HJ 25.4、HJ 25.5相关规定执行。

地方标准信息服务平台

附录 A  
(规范性)  
土壤重金属水体生态风险评估

A.1 经地表水的暴露途径

A.1.1 暴露量计算公式

暴露量计算公式如下：

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{K}{u_x} L\right) \dots\dots\dots (A.1)$$

$$C_0 = \frac{qC_s}{Q+q} \dots\dots\dots (A.2)$$

$$u_x = \frac{k}{n} R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots (A.3)$$

公式 A.1、A.2 和 A.3 中：

- $C$ —地表水体的暴露浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；
- $C_0$ —污染场地释放的污染浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；
- $K$ —污染物衰减速度常数；
- $u_x$ —断面平均速度，单位为米每天 (m/d)，根据曼宁公式计算；
- $L$ —污染源到地表水体（或农田）的迁移距离，单位为米 (m)；
- $q$ —污染源的降雨淋滤污染水量，单位为立方米每天 (m<sup>3</sup>/d)；
- $C_s$ —污染源最大浸出浓度，单位为毫克每升 (mg/L)；
- $Q$ —场地降雨径流量，单位为立方米每天 (m<sup>3</sup>/d)；
- $k$ —单位变换系数， $k=8.64 \cdot 10^4$ ；
- $n$ —流下断面粗糙系数；
- $R$ —流下断面水力半径，单位为米 (m)，是流体截面积与周长的比值；
- $I$ —流下断面平均坡度。

A.1.2 算例和主要计算参数

A.1.2.1 污染源与敏感地表水体/农田平面和剖面的示意图见图 A.1 和图 A.2。

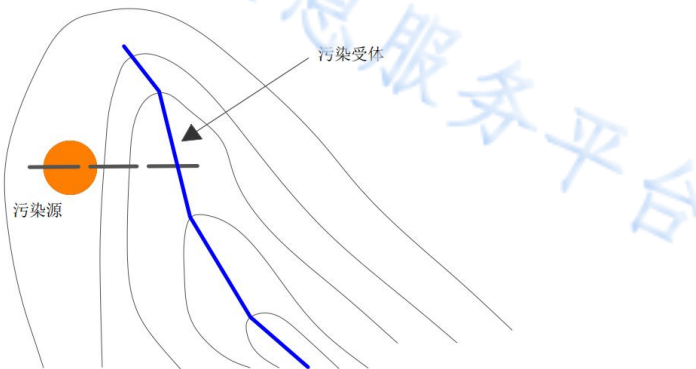


图 A.1 污染源与敏感地表水体/农田平面图

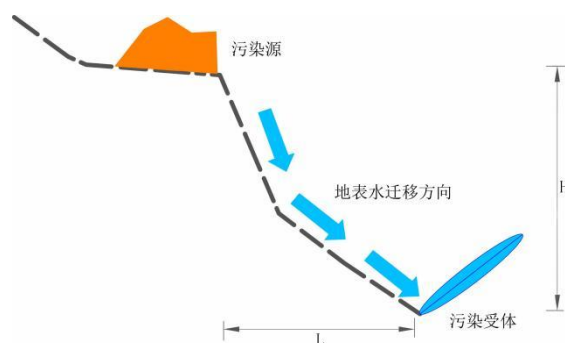


图 A.2 污染源与敏感地表水体/农田剖面图

## A.1.2.2 主要计算参数如下：

- a) 污染物衰减速度常数  $K$  (1/d)，按实际数据设定，根据污染物种类以及径流途径的土质，建议值如下：
- 1) 镉(Cd)：裸岩 10~15；砂土 20~30；粉土 800~1 000；粘土（腐殖质土）1 500~1 800；
  - 2) 砷(As)：裸岩 50~75；砂土 100~150；粉土 200~300；粘土（腐殖质土）400~600；
  - 3) 锌(Zn)：裸岩 50~75；砂土 100~150；粉土 200~300；粘土（腐殖质土）400~600；
  - 4) 其他污染物参考性质相近的物质设定。
- b) 污染源的降雨淋滤污染水量  $q$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ )，降雨强度根据当地日最大降雨量设定，具体设定方法为取以下数值的较高值：
- 1) 计算当地复数年（例如 20 年以上）的日最大降雨量的平均值；
  - 2) 计算当地复数年（例如 20 年以上）的日最大降雨量的中间值。
- c) 场地降雨径流量  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{d}$ )，降雨强度的设定方法与计算  $q$  的方法相同。场地面积根据汇水地形计算，根据汇水地形计算场地面积见图 A.3。汇水地形难以识别时，以污染源宽度与到地表水体的长度之积为场地集水面积，简易计算场地面积见图 A.4。

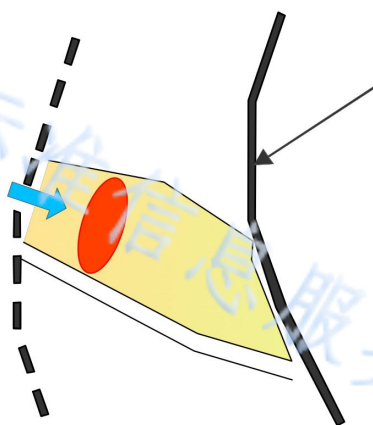


图 A.3 根据汇水地形计算场地面积

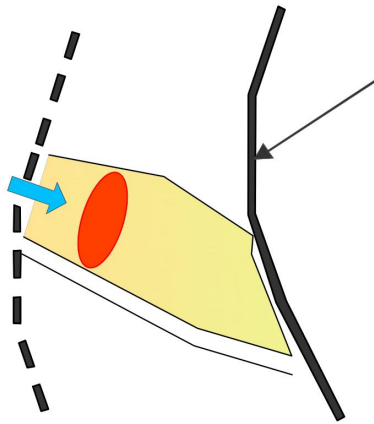


图 A.4 简易计算场地面积

- d) 流下断面粗糙系数  $n$  ( $s/m^{1/3}$ )：根据实际地形地貌，表层植被等条件，查文献数值来设定。代表性的粗糙系数如下：
- 1) 山区河流：河底有砾石，卵石间有孤石：0.03~0.05；河底有卵石和孤石：0.04~0.07；
  - 2) 平原小河流：清洁，顺直，无沙滩和深潭：0.025~0.03；清洁，弯曲，有沙滩和深潭：0.033~0.04；清洁，弯曲，有较多石块：0.045~0.06；流动慢，多草，有深潭：0.05~0.08；多杂草，多深潭或林木滩地过洪：0.075~0.15。
- e) 流下断面平均坡度  $I$ ：根据实际地形计算，按图 A.2 取 L 和 H 数值： $I=H/L$ 。
- f) 流下断面水力半径  $R$ ：根据实际地形计算，地形复杂计算困难时，采用公式 A.4、A.5 和 A.6 计算：

$$R = \frac{\pi r^2}{\pi r} = \frac{r}{2} \dots\dots\dots (A.4)$$

考虑流量  $Q$  与流速  $u_x$ (公式 A.3)的关系，得到以下公式：

$$Q = \frac{k}{n} \left(\frac{r}{2}\right)^{2/3} I^{1/2} \left(\frac{1}{2}\pi r^2\right) \dots\dots\dots (A.5)$$

即：

$$r = 0.014 \left(\frac{Qn}{\sqrt{I}}\right)^{3/8} \dots\dots\dots (A.6)$$

假定流体截面为半径为  $r$  的半圆形，地表径流计算见图 A.5。

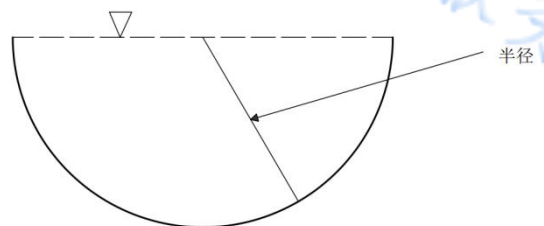


图 A.5 地表径流计算模式图

### A.1.3 可接受的场地风险控制值

可接受的场地风险值计算公式如下：

$$C_t = \left(\frac{Q+q}{q}\right) C_{s3} \exp\left(\frac{K}{u_x} L\right) \dots\dots\dots (A.7)$$

式中：

$C_t$  —污染源修复目标浓度，单位为每升（mg/L）；

$C_{s3}$  —地表水体可接受的暴露浓度，单位为毫克每升（mg/L），设为地表水环境质量标准（或农田灌溉水质标准）；

$K$ 、 $u_x$ 、 $L$ 、 $Q$ 和 $q$ 与公式A.1~A.6相同。

## A.2 经地下水的暴露途径

### A.2.1 暴露量计算公式

暴露量计算公式如下：

$$C = \frac{C_s}{2} \left[ \operatorname{erfc}\left(\frac{R_d n_e L - u_x t}{2 n_e \sqrt{R_d D t}}\right) + \exp\left(\frac{u_x L}{n_e D}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{R_d n_e L + u_x t}{2 n_e \sqrt{R_d D t}}\right) \right] \dots\dots\dots (A.8)$$

$$u_x = K_{dar} I \dots\dots\dots (A.9)$$

$$D = a_L u_x \dots\dots\dots (A.10)$$

$$a_L = 0.83 [\lg(L)]^{2.414} \dots\dots\dots (A.11)$$

公式A.8、A.9、A.10和A.11中：下面横线应对齐

$C$  —地下水体的暴露浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$C_s$  —污染源浸出浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

$\operatorname{erfc}(x)$  —余误差函数；

$R_d$  —污染物阻滞因子；

$n_e$  —含水层有效空隙率，采用给水度 $\mu$ ；

$L$  —迁移距离，单位为米（m）；

$u_x$  —地下水达西流速，单位为米每天（m/d）；

$t$  —迁移时间，单位为天（d）；

$D$  —机械弥散系数，单位为平方米每天（m<sup>2</sup>/d）；

$K_{dar}$  —地层平均透水系数，单位为米每天（m/d）；

$I$  —地下水梯度；

$a_L$  —纵向弥散度，单位为米（m）；

### A.2.2 算例和主要计算参数

#### A.2.2.1 污染源与敏感地表水体/农田平面和剖面见图A.6和图A.7。

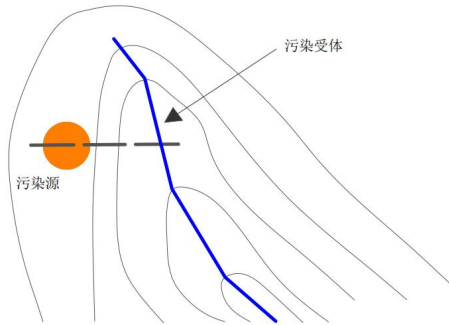


图 A.6 污染源与敏感地表水体/农田平面图

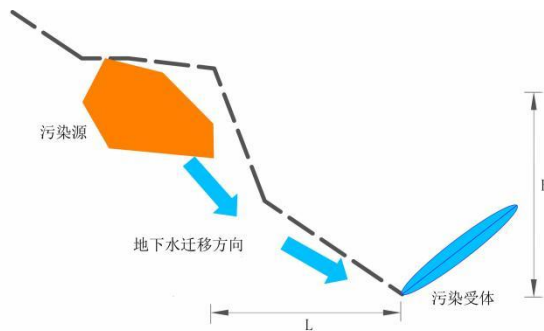


图 A.7 污染源与敏感地表水体/农田剖面图

A.2.2.2 主要计算参数如下：

- a) 地层透水系数  $K_{dar}$ ：根据实际土样通过室内透水试验，或在现场单孔抽水试验、注水试验、试坑法渗水实验确定，也可以查文献数值来设定。具有代表性的渗透系数见表 A.1 和表 A.2，如果污染源无稳定地下水位，则判断为包气带的不饱和地下水，透水系数采用表 A.1 渗透系数经验值的 50%。

表 A.1 各种土的渗透系数

土质类别	$K(\text{cm/s})$	土质类别	$K(\text{cm/s})$
粗砾	1~0.5	黄土（砂质）	1e-3~1e-4
砂质砾	0.1~0.01	黄土（泥质）	1e-5~1e-6
粗砂	5e-2~1e-2	黏壤土	1e-4~1e-6
细砂	5e-3~1e-3	淤泥土	1e-6~1e-7
黏质砂	2e-3~1e-4	黏土	1e-6~1e-8
沙壤土	1e-3~1e-4	均匀肥黏土	1e-8~1e-10

表 A.2 岩石和岩体的渗透系数

岩块	K(实验室测定, cm/s)	岩体	K(现场测定, cm/s)
砂岩(白垩复理层)	1e-8~1e-10	脉状混合岩	3.3e-3
粉岩(白垩复理层)	1e-8~1e-9	绿泥石化脉状页岩	0.7e-2
花岗岩	2e-10~5e-11	片麻岩	1.2e-3~1.9e-3
板岩	1.6e-10~7e-11	伟晶花岗岩	0.6e-3
角砾岩	4.60e-10	褐煤层	1.7e-2~2.39e-2
方解岩	9.3e-8~7e-10	砂岩	1e-2
灰岩	1.2e-7~7e-10	泥岩	1e-4
白云岩	1.2e-8~4.6e-9	鳞状片岩	1e-2~1e-4
砂岩	1.2e-5~1.6e-7	1个吕荣单位裂隙宽度0.1mm间距1m和不透水岩块的岩体	0.8e-4
砂泥岩	2e-6~6e-7		
细粒砂岩	2e-7		
蚀变花岗岩	0.6e-5~1.5e-5		

表 A.3 各种岩土的水度 $\mu$ 

岩土类别	渗透系数 K (cm/s)	孔隙率 n	给水度 $\mu$
砾	240	0.371	0.354
粗砾	160	0.431	0.338
砂砾	0.76	0.327	0.251
砂砾	0.17	0.265	0.182
砂砾	7.2e-2	0.335	0.161
中粗砂	4.8e-2	0.394	0.18
含黏土的砂	1.1e-4	0.397	0.0052
含黏土1%的砂砾	2.3e-5	0.394	0.0036
含黏土16%的砂砾	2.5e-6	0.342	0.0021
重粉质壤土 d50=0.02mm	2e-4	0.442	0.007
中细砂 d50=0.2mm	1.7e-3~6.1e-4	0.438~0.392	0.074~0.039
粗砾 d50=5mm	613	0.392	0.36
砂砾石料	2.4e-3	0.302	0.078
砂砾石料	1.1e-1	0.264	0.096
砂砾石料	115	0.306	0.22
砂砾石料	0.25	0.442	0.3

b) 含水层有效空隙率  $n_e$ : 采用给水度  $\mu$  的经验值, 给水度  $\mu$  见表 A.3;

- c) 地下水梯度  $I$ : 简单地取断面上下游的地下水头差  $H$  (无地下水时取地形标高差) 与地下水渗透路径长度  $L$  的比值, 即  $I=H/L$ ;
- d) 污染物阻滞因子  $R_d$ : 应根据试验测定土的分配系数  $K_p$  以及物理性质 (干密度和有效空隙率) 设定, 计算公式如下:

$$R_d = 1 + K_p \frac{\rho_d}{n_e} \dots\dots\dots (A. 12)$$

不同污染物种类以及径流途径土质的建议值如下:

- 1) 镉(Cd): 砂土 20~30; 粉土 800~1 000; 粘土 1 500~1 800;
- 2) 砷(As): 砂土 100~150; 粉土 200~300; 粘土 400~600;
- 3) 锌(Zn): 同砷;
- 4) 其他污染物参考性质相近的物质设定。

### A. 2. 3 可接受的场地风险控制值

可接受的场地风险控制值计算公式如下:

$$C_t = 2C_{s3} \left[ \operatorname{erfc} \left( \frac{R_d n_e L - u_x t}{2 n_e \sqrt{R_d D t}} \right) + \exp \left( \frac{u_x L}{n_e D} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{R_d n_e L + u_x t}{2 n_e \sqrt{R_d D t}} \right) \right]^{-1} \dots\dots\dots (A. 13)$$

式中:

$C_t$  — 污染源修复目标浓度, 单位为毫克每升 (mg/L);

$C_{s3}$  — 地表水体可接受的暴露浓度, 单位为毫克每升 (mg/L), 设为地表水环境质量标准或农田灌溉水质标准;

$N_e$ 、 $L$ 、 $u_x$ 、 $D$ 、 $t$  和  $R_d$  与公式 A. 8~A.12 相同。

