

中华人民共和国地质矿产行业标准

DZ/T XXXXX—XXXX

局部生态地球化学评价规范

Determination of Local Ecogeochemistry Assessment

(报批稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施



# 目 次

前言 .....	III
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 总则 .....	2
4.1 评价目的 .....	2
4.2 基本要求 .....	3
5 设计书评审 .....	3
5.2 设计书编写前准备工作 .....	3
6 矿区生态地球化学评价 .....	4
6.1 潜在生态风险评价 .....	4
6.2 污染程度评价 .....	5
7 污染场地生态地球化学评价 .....	20
7.1 资料收集与分析 .....	20
7.2 污染识别 .....	20
7.3 风险评价 .....	23
7.4 资料整理与措施建议 .....	30
8 名特优农产品与富硒农产品产地生态地球化学评价 .....	30
8.1 名特优农产品 .....	30
8.2 富硒农产品 .....	33
9 绿色食品产地生态地球化学评价 .....	37
9.1 样点布设 .....	37
9.2 样品采集 .....	38
9.3 样品处理 .....	39
9.4 测试指标选择与分析质量监控 .....	39
9.5 综合评价与规划建议 .....	41
10 地方病病区生态地球化学评价 .....	42
10.1 地方性氟病 .....	42
10.2 地方性甲状腺肿 .....	43
10.3 克山病与大骨节病 .....	43
10.4 地方性 As 中毒 .....	43
11 成果报告编写 .....	44

11.1	图件编制.....	44
11.2	报告编写.....	44
附录 A (资料性附录)	设计书编写内容及要求.....	45
附录 B (资料性附录)	元素有效态、相态、价态等指标的分析方法与质量监控.....	48
附录 C (资料性附录)	矿山环境质量地球化学评价土壤、水系样品测试指标.....	58
附录 D (资料性附录)	生态风险评价方法简介.....	60
附录 E (资料性附录)	污染场地土壤、水样品测试指标筛选范围.....	65
附录 F (资料性附录)	美国 EPA 通用土壤污染物筛选值.....	68
附录 G (资料性附录)	场地健康风险计算方法.....	72
附录 H (资料性附录)	成果报告编写提纲及要求.....	84
参考文献.....		88

## 前 言

本标准按GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准由中华人民共和国自然资源部提出。

本标准由全国国土资源标准化技术委员会（SAC/TC 93）归口。

本标准主要起草单位：中国地质大学（北京）、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所、湖北省地质实验研究所。

本标准主要起草人：杨忠芳、余涛、侯青叶、周国华、叶家瑜、成杭新、李敏、夏学齐、冯海艳、杨琼、王昌宇、刘斯文、袁嘉欣、顾秋蓓。

## 引 言

局部生态地球化学评价是生态地球化学评价工作的重要组成部分。随着评价工作的逐步深入，在不断实践检验基础上，修改完善了此标准。在矿区生态地球化学评价、污染场地生态地球化学评价、名特优农产品产地生态地球化学评价、绿色食品产地生态地球化学评价和地方病病区生态地球化学评价工作中具有重要的指导作用，使其在评价思路、评价方法与成果表达等方面统一规范，并进一步促进生态地球化学学科发展与评价成果的推广应用。

# 局部生态地球化学评价规范

## 1 范围

本标准规定了局部（矿区、污染场地、名特优农产品产地、绿色食品产地和地方病病区）生态地球化学评价的目的任务、设计书编制、评价内容、评价方法、质量控制与成果编写等方面的技术要求。

本标准适用于矿区、污染场地、名特优农产品产地、富硒农产品产地、绿色食品产地和地方病病区的生态地球化学评价，其他类似工作可参照执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 1354 大米
- GB 2762 食品中污染物限量
- GB 3095 环境空气质量标准
- GB 3838 地表水环境质量标准
- GB 5084 农田灌溉水质标准
- GB 5749 生活饮用水卫生标准
- GB 6921 大气飘尘浓度测量方法
- GB/T 14848 地下水质量标准
- GB 15618 土壤环境质量标准
- GB 16005 碘缺乏病病区划分标准
- GB 17018 地方性氟中毒病区划分
- GB 19380 水源性高碘地区和地方性高碘甲状腺肿病区的划定
- GB 20426 煤炭工业污染物排放标准
- GB 25465 铝工业污染物排放标准
- 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 25468 镁、钛工业污染物排放标准
- GB 26451 稀土工业污染物排放标准
- GB 26452 钒工业污染物排放标准
- GB 28661 铁矿采选工业污染物排放标准
- DZ/T 0011 地球化学普查规范（1:50 000）
- DZ/T 0130.6 地质矿产实验室测试质量管理规范 第6部分：水样分析
- DZ/T 0258 多目标区域地球化学调查规范（1:250 000）
- DZ/T 0289 区域生态地球化学评价规范
- DZ/T 0295 土地质量地球化学评价规范
- HJ 2.2 环境影响评价技术导则 大气环境

- HJ/T 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/T 194 环境空气质量手工监测技术规范
- NY/T 391 绿色食品产地环境质量标准
- NY/T 393 绿色食品 农药使用准则
- NY/T 394 绿色食品 肥料使用准则
- NY/T 471 绿色食品 饲料和饲料添加剂使用准则
- WS/T 87 人群总摄氟量卫生标准
- WS/T 88 煤及土壤中总氟测定方法 燃烧水解-离子选择电极法
- WS/T 106 地方性氟中毒病区饮水氟化物的测定方法
- WS 277 地方性砷中毒病区判定和划分标准

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件要求。

#### 3.1

##### 局部生态地球化学评价 local eco-geochemistry evaluation

针对局部地区存在的生态地球化学问题,研究重金属元素、有益元素及有机污染物的分布分配特征,查明元素异常成因、物质来源与地球化学循环过程,开展生态效应评价与生态风险评估,提出降低危害、防控风险、治理污染等措施建议,为优质土地资源开发、绿色矿山建设、工矿企业废弃地利用、名特优农产品种植、地方病防控等提供科学依据。

### 4 总则

#### 4.1 评价目的

针对矿山、农田、城市等不同系统中的局部生态地球化学问题,通过开展生态地球化学评价,研究地球化学环境与生态效应之间的作用关系及影响机制,提出绿色矿山开发管理、污染场地规划利用、名特优农产品及绿色食品种植、地方病防控等措施建议,为地方经济社会与生态环境的可持续协调发展服务。

##### 4.1.1 评价任务

4.1.2 根据矿种和矿床类型,调查矿体(包括富含有害重金属元素的黑色岩系、煤系地层等地质体)、蚀变岩及赋矿围岩的重金属元素含量及其分布,从成矿元素与矿石矿物组合、赋矿围岩与蚀变类型、地理地貌与气候特征等方面,评价矿体(包括富含有害重金属元素的黑色岩系、煤系地层等地质体)经自然风化作用可能对环境产生的潜在生态风险;调查矿区及矿业活动影响地区的土壤、水体(包括水系沉积物)、大气、农作物等重金属含量及其分布,评价矿业活动的污染程度,为矿山环境污染综合治理和绿色矿山建设提供依据。

4.1.3 根据矿种和矿床类型调查污染场地的土壤、水体(地下水、地表水)、大气和动植物中有害物质的含量及其分布状况,根据土地不同生态功能区的土壤环境质量要求,开展环境质量评价与生态风险评估,提出土地规划利用建议与污染土壤的修复治理建议。

- 4.1.4 调查名特优农产品产地的地质背景与环境地球化学条件，查明名特优农产品品质与地质背景、成土母质、成土作用、土壤类型以及水环境、大气环境、气候条件等方面的关系，开展土壤中微量元素含量、元素生物有效性和元素交互作用对农产品品质的影响研究，提供名特优农产品的种植规划建议。
- 4.1.5 调查土壤中硒来源与地球化学循环途径，开展土壤硒的生物有效性影响因素研究，筛选富硒农产品种类，评价富硒农产品的安全性，提出安全种植富硒农产品规划建议。
- 4.1.6 调查农作物安全性及产地的土壤、大气、灌溉水等环境质量，依据绿色食品行业标准和绿色食品产地环境质量标准，开展绿色食品产地生态地球化学评价，提出绿色农产品种植规划建议。
- 4.1.7 调查评价因土壤、水体等微量元素及化合物的含量异常所引起的地方性疾病生态地球化学特征，统计研究地方性疾病的发病状况（发病率、患病率）和病情程度与异常元素及化合物含量、元素赋存形式与生物利用有效性影响因素、暴露途径与暴露水平等之间的关系，查明异常元素与化合物的异常来源、迁移特征与地球化学循环规律，为地方病防控提供地球化学依据。
- 4.1.8 不同评价地区，可根据实际存在的生态地球化学问题及社会经济需求，设定评价目标任务，开展调查评价；未列入本规范的类似评价内容，也可参照本规范相应评价内容执行。

## 4.2 基本要求

- 4.2.1 在多目标区域地球化学调查、区域生态地球化学评价或类似的地球化学调查评价工作基础上，针对发现的局部生态地球化学问题进行评价；没有开展过调查评价的地区，根据社会经济发展实际需要和已经存在的环境问题、生态事件、地方病等，选择合适的区域进行评价。
- 4.2.2 根据评价区存在的生态地球化学问题影响范围，局部生态地球化学评价的范围为  $n \times 10 \text{ m}^2 \sim n \times 10^2 \text{ km}^2$ ，评价比例尺为 1:50 000 ~ 1:2 000。一般情况下，评价区域范围越大，选择的评价比例尺越小，反之，选择的评价比例尺越大。选择评价的区域范围、比例尺及地理底图须满足评价工作需要。
- 4.2.3 评价区已有的调查评价资料和分析测试数据能够满足评价工作需要时，可不进行新的样品采集与分析测试工作；不能满足评价工作需要时，应按照本标准的要求，进行样品采集与分析测试工作。
- 4.2.4 在广泛采纳环境、农业、医学等不同学科研究思路与方法技术基础上，评价工作应立足于生态地球化学，以研究元素的成因来源、迁移途径、生态效应和变化趋势为主线，为评价区生态文明建设、土地资源管护、绿色矿山建设、名特优农产品生产、地方病防控等提供科学依据。

## 5 设计书评审

5.1 设计书是局部生态地球化学评价项目实施的依据，应由项目承担单位根据主管部门下达的任务书或委托单位的委托合同书编写。

### 5.2 设计书编写前准备工作

5.2.1 根据评价任务，收集评价所需相关资料。收集资料种类如下：

- 自然地理、土壤类型、农业生产、名特优农产品、富硒农产品、地方性疾病及环境污染等资料；
- 多目标区域地球化学调查、区域生态地球化学评价、土地质量地球化学评价及其他区域地球化学调查评价资料；
- 基础地质、矿床地质、水文地质、气象资料、城镇发展规划及其与土地利用有关的各种资料；
- 矿山及工厂的建厂历史、污染物种类、污染事件等资料。

### 5.2.2 资料分析

综合分析收集的资料,结合评价区社会经济发展现状,总结影响局部生态地球化学问题的各种因素,明确评价工作需要重点解决的问题,提出评价思路与技术方案。

### 5.2.3 实地踏勘

在收集资料和综合研究基础上,对评价区进行实地踏勘,提出评价重点与评价方法。

5.3 参照附录 A 的规定,编写局部生态地球化学评价设计书。

5.4 设计书提交主管部门或委托单位审查批准后实施。

## 6 矿区生态地球化学评价

### 6.1 潜在生态风险评价

#### 6.1.1 资料收集与样品布设

##### 6.1.1.1 资料收集

6.1.1.1.1 根据矿种和矿床类型,全面收集矿山及矿业活动影响地区的环境污染与生态地球化学问题,初步分析污染物来源、污染重金属种类、生态效应及其与矿床自然风化和矿业活动的关系,为制定评价方案提供依据。

6.1.1.1.2 系统收集整理矿床的矿石矿物、结构构造、蚀变类型、赋矿围岩、风化程度,以及开采历史、采选工艺、矿床储量(重点是硫化物矿物储量)、尾矿库、气象数据、气候条件、地理地貌等资料,依据矿山开采和地表露头情况,为选择有代表性的矿化段、主要蚀变围岩与赋矿围岩进行潜在生态风险评价方案制定提供依据。

6.1.1.1.3 系统收集以往矿山采选影响地区土壤、水体、农作物等污染状况资料,以及区域化探资料、矿床地质背景、矿石矿物组合、元素种类、矿山开采工艺、废石及尾矿堆放情况等,为制定污染程度评价方案提供依据。

##### 6.1.1.2 样品布设

6.1.1.2.1 对矿体(包括富含有害重金属元素的黑色岩系、煤系地层等地质体)、蚀变岩及赋矿围岩进行潜在生态风险评价时,各类样品布设方法如下:

- a) 根据评价区矿石矿物、蚀变岩石、赋矿围岩和尾矿、废石等样品种类,系统布设新鲜、半风化和风化等各类样品的采集点位。根据矿山开采情况和矿山安全管理要求,样品采集部位可以是矿山坑道、竖井及作业面等,硫化物矿床还需布设流经不同矿石和围岩的酸性废水样品采集点;
- b) 需要进行单矿物分离和微区原位定量分析的样品,须采集大样;
- c) 矿石、岩石等样品数量需大于 10 件,酸性废水样品需大于 5 件。

6.1.1.2.2 对矿山及其矿业活动影响地区进行污染程度评价时,需根据矿业活动污染特点、污染程度和矿区土壤、水系等发育情况,各类样品布设方法如下:

- a) 在已划定的矿山及周边地区污染程度评价范围基础上,确定进行面积性调查评价的范围,一般土壤调查面积为数十 ~ 数百  $\text{km}^2$ ,包括表层土壤重金属明显累积区及累积区外围一定范围的背景区。矿床密集分布的矿田或富含重金属元素地质体出露面积较大时,调查评价范围需更大。
- b) 按照网格或者不同地形地貌、土地利用方式及土壤类型等划分采样单元,采样密度为 8 ~ 20 个/ $\text{km}^2$ ,每个单元至少采集一套/件土壤样品,每件样品由 3 ~ 5 个子样等份混合组成,每件样品重量为 1 000 g。

- c) 当土壤为没有受到人为活动严重扰动的自然土时，每个采样点采集 0 ~ 10 cm 表层土壤和 10 ~ 20 cm 深层土壤样品；受到人为活动严重扰动的区域和农田耕作区，每个采样点采集 0 ~ 20 cm 土壤，土壤较薄的地区，采集 0 ~ 10 cm 土壤。
- d) 用于土壤重金属分析的样品，需使用竹铲、竹片直接采取样品。用铁锹挖采样坑时，先挖好坑后，用竹片去除与金属采样器接触的土壤，再采集样品。每个样品采集完后，应清除干净采样工具上的泥土，再用于下个样品采集。

## 6.1.2 样品采集与加工

矿石、围岩样品应大于10件，每件500 ~ 1 000 g，进行单矿物分离的样品应大于2 500 g，酸性废水样品应大于5件，样品采集与处理过程中要严格防止污染。样品采集、处理与加工各项要求同DZ/T 0011。

## 6.1.3 样品分析测试

分析各类样品中S、Cr、Cu、Pb、Zn、Cd、Ni、As、Hg、Se、Sb、Tl等重金属元素含量，废水样品加测pH、COD<sub>Mn</sub>等指标。

## 6.1.4 综合整理与评价

6.1.4.1 硫化物矿床应研究 Cd、Pb、As、Zn、Cu 等重金属元素含量及在不同硫化物矿物中的分布分配特征，结合硫化物储量、矿石矿物的结构构造与抗风化能力，以及地表水、地下水、气象条件等资料，定量评估进入环境系统的产酸硫化物资源量及产酸潜力。

6.1.4.2 硫化物矿床应研究赋矿围岩与蚀变岩石的矿物学特征，定性或定量评估碳酸盐矿物、铁镁硅酸盐矿物对矿山排水的酸性中和能力。

6.1.4.3 研究 Cd、Pb、As、Zn、Cu 等重金属元素在原生带、氧化带和风化壳中的赋存状态，以及富集矿物与载体矿物在风化过程中的变化趋势及控制因素，研究硫化物矿物自然风化作用过程中，Cd、As、Pb 等重金属元素的地球化学迁移规律及制约因素。

6.1.4.4 系统研究重金属元素在风化过程中迁移转化规律，结合矿床产酸能力、酸中和能力，以及矿山采选工艺、地理地貌、气候条件等因素，对矿床生态风险进行综合评价，为绿色矿山建设提供科学建议。

## 6.2 污染程度评价

### 6.2.1 资料收集与评价范围确定

6.2.1.1 系统收集以往矿山采选影响地区土壤、水体、农作物等污染状况资料，以及区域化探资料、矿床地质背景、矿石矿物组合、重金属元素种类、矿山开采工艺、废石及尾矿堆放情况等，制定污染程度评价方案。

6.2.1.2 在矿床与矿集区（包括未开采的）自然风化作用影响地区或矿山采选冶可能影响范围内，布设两条剖面方向相互垂直的土壤水平剖面，其中一条土壤剖面应与流经矿集区或矿山的水系平行，剖面长度视矿集区或矿山规模、岩（矿）石风化强度、开采历史与选冶工艺、地理地貌与气候条件等确定。一般情况下，按照以下原则布设剖面：

- a) 平行于水系的水系剖面
  - 1) 沿水系向下游布设，直达山前洪冲积农耕区；
  - 2) 沿水系向上游布设，穿越矿山（矿集区），到达分水岭；如矿床（矿集区）或矿山规模较小，汇水区面积较大时，可在穿越矿山（矿集区）后，向上延伸 500 ~ 1 000 m，作为剖面终点。

b) 垂直于水系的土壤剖面

- 1) 以矿床(矿集区)或矿山为中心,向两边延伸,直达分水岭;
- 2) 如矿床(矿集区)或矿山规模较小,汇水区面积较大时,以矿山(矿集区)为中心,向两侧延伸 1 000 ~ 2 000 m,作为剖面终点。

6.2.1.3 土壤水平剖面采样点位应尽量选择在没有人活动影响的自然地上,且该自然地应处于相对低洼区域,没有明显的风化剥蚀和水土流失现象,通常年份能够接受河漫滩或大气干湿沉降物沉积;严禁在外来土区域和强烈扰动区域布设样点。在没有自然地出露的地区,可将样点布设在耕地内。

6.2.1.4 土壤水平剖面视剖面水平长度,自行确定采样间距,原则上土壤样采集密度为 1 个点/100~200 m。靠近矿床(矿山),采样密度可加密,远离矿床(矿山),采样密度适当放稀。未受人为活动影响的自然地,每个样点采集 0 ~ 10 cm 及 10 ~ 20 cm 表层土壤和深层土壤样品;耕地或明显受到人为扰动的区域,土壤样品采集 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40cm 表层土壤和深层土壤样品。

6.2.1.5 水平剖面的土壤样品由 3 ~ 5 个子样等份混合组成,组成混合样的所有子样,必须在同一地块 50 ~ 100 m 半径范围内采集,依据地块形状,空间上子样点分布可为梅花状、S 形或蛇形,每个子样采集深度必须一致。

6.2.1.6 在平行于水系的土壤剖面上,在上、中、下游设置 3 条土壤垂直剖面,剖面深度视土壤发育厚度、地下水出露深度等自行确定,原则上剖面深度不少于 1 m。

6.2.1.7 垂向剖面的土壤样品必须在没有人为明显扰动的河漫滩或一级河流阶地的区域内采集。确定具体采样位置前,应进行野外踏勘、实地观察与居民访问,以保证采样点及周围地区基本无人类生产生活影响,且土壤剖面沉积层层理水平、清晰,无上、下层扰动和沉积缺失等。

6.2.1.8 土壤垂向剖面样品采集密度为:0 ~ 50 cm 剖面深度范围内,土壤样品采集密度为 1 个样/5 cm,50 ~ 100 cm 剖面深度范围内,土壤样品采集密度为 1 个样/10 cm。

6.2.1.9 土壤样品采集后,放置阴凉通风处,晾干后过 2 mm 尼龙筛。样品采集、加工处理、记录描述、质量监控等各项要求同 DZ/T 0258-2014。

6.2.1.10 加工后的土壤样品,分析 As、Cd、Cr、Cu、Ni、Hg、Pb、Zn、Se、Co、V、Sb、S、REE、Tl 等指标。不同地区,可根据评价区矿床(矿集区)和矿山类型,自行增减指标。

6.2.1.11 参照 GB 15618,对 As、Cd、Hg 等重金属元素的污染程度进行评价。

6.2.1.12 查明不同深度采集的土壤样品中各种元素含量的变化趋势、空间分布,计算表层土壤元素的富集系数(富集系数  $EF = \text{表层土壤元素 } i \text{ 含量} / \text{深层土壤元素 } i \text{ 含量}$ ),初步确定矿床(矿集区)自然风化和矿山采选冶造成的土壤重金属元素累积范围与累积深度,划定开展矿山及周边地区污染程度评价的范围。

## 6.2.2 样品采集与加工处理

### 6.2.2.1 土壤

6.2.2.1.1 在已划定的矿山及周边地区污染程度评价范围基础上,确定进行面积性调查评价的范围,一般土壤调查面积为数十 ~ 数百  $\text{km}^2$ ,包括表层土壤重金属明显累积区及累积区外围一定范围的背景区。矿床密集分布的矿田或富含重金属元素地质体出露面积较大时,调查评价范围需更大。

6.2.2.1.2 按照网格或者不同地形地貌、土地利用方式及土壤类型等划分采样单元,采样密度为 8 ~ 20 个点/ $\text{km}^2$ ,每个单元至少采集一套/件土壤样品,每件样品由 3 ~ 5 个子样等份混合组成,每件样品重量为 1 000 g。

6.2.2.1.3 当土壤为没有受到人为活动严重扰动的自然土时,每个采样点采集 0 ~ 10 cm 表层土壤和 10 ~ 20 cm 深层土壤样品;受到人为活动严重扰动的区域和农田耕作区,每个采样点采集 0 ~ 20 cm 土壤和 20 ~ 40 cm 深层土壤样品,土壤较薄的地区同自然土。

6.2.2.1.4 用于土壤重金属分析的样品，需使用竹铲、竹片直接采取样品。用铁锹挖采样坑时，先挖好坑后，用竹片去除与金属采样器接触的土壤，再采集样品。每个样品采集完后，应清除干净采样工具上的泥土，再用于下个样品采集。

6.2.2.1.5 土壤样品加工处理要求如下：

- a) 依据样品分析测试指标种类，土壤样品可分为新鲜样品和风干样品两种。测定土壤中  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{6+}$ 、还原态锰等指标的样品需用新鲜样品，其他测试指标用风干样品；
- b) 新鲜样品采集后直接用玻璃瓶或塑料袋密封后送实验室进行处理分析。如样品采集后不能及时送实验室，需要暂时储存时，可将新鲜样品装入塑料袋，扎紧袋口，放在冰箱冷藏室或进行速冻保存；
- c) 风干样品的晾晒、登记、加工等各项要求同 DZ/T 0258-2014 要求；
- d) 风干样品的不同测试指标过筛孔径不同，要求如下：
  - 1) 过 2 mm 孔径筛的土样可供 pH、盐分和元素交换性及有效养分项目的测定；
  - 2) 将通过 2 mm 孔径筛的土样用四分法取出一部分继续研磨，使之全部通过 0.25 mm 孔径筛，供土壤有机质、腐殖质组成、土壤重金属相态和碳酸钙等项目测定；
  - 3) 取适量过 0.25 mm 孔径筛的土样，研磨至通过 200 目筛（0.074 mm），供土壤矿质成分、元素全量分析等项目测定。

## 6.2.2.2 水系沉积物和水样

6.2.2.2.1 在土壤调查范围内，对流经矿区的主要水系，按照 100 ~ 1 000 m 的间距系统采集水系沉积物 and 对应点位的河水样品，主要干流水系沉积物样品控制的河流长度应大于 10 km。通常情况下，一条水系采集样品数为 5 ~ 10 件，靠近矿区适当加密，远离矿区放稀。样品采集、处理等各项要求同 DZ/T 0011。

6.2.2.2.2 系统采集矿区及周边地区矿坑水、矿山裂隙水、尾矿库渗水，以及井水、泉水、河水等主要饮用水样品。水样采集要求瞬时采集，采集前用采样点处水洗涤样瓶和塞盖 2 ~ 3 次，现场测试 pH、水温和电导率等参数。

6.2.2.2.3 如水体浑浊，可使用赛氏盘法测试水体透明度。赛氏盘指用油漆漆成黑白两色相间的直径 25 cm 圆铁盘，在圆盘中心孔穿一根细绳，并在绳上划上间隔为 10 cm 黑白相间的长度标记，将赛氏盘浸入水体中，至刚好看不到赛氏盘上的黑白分界限为止，这时绳子在水面以下的长度标记数值就是该水体的透明度。

6.2.2.2.4 水体测试叶绿素 a 时，采集与处理方法为：

- a) 一般可采取 1.5 ~ 2 L 水样用于叶绿素 a 分析。贫营养型湖泊或水库要增加采集水样量。水样要立即进行后续处理。如需延迟 4 ~ 48 h 才处理，则要在每升水加 1 % 碳酸镁悬浊液 1 mL，以防止酸化引起色素溶解，同时保存在低温（0 ~ 4 °C）避光处。水样在冰冻（-20 °C）情况下最长可保存 30 d；
- b) 对水样进行离心或过滤浓缩。离心前或在过滤滤膜上加少量碳酸镁悬浊液。抽滤水样时负压不能过大（约 0.5 atm），水样抽完后，继续抽 1 ~ 2 min，减少滤膜上的水分。记录过滤水体积，并尽快送样分析，样品短期保存（1 ~ 2 d）可放置普通冰箱冷冻室，长期（30 d）保存则要放入低温冰箱（-20 °C）。

6.2.2.2.5 根据测试指标不同，水样中添加不同的保护剂：

- a) 原样：指水样采集后，不加任何保护剂。原样保存于玻璃瓶或聚乙烯塑料瓶中，供测定游离二氧化碳、pH 值、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_2^-$ 、COD、 $\text{NH}_4^+$ 、F、Br、I、总硬度、K、Na、Ca、Mg、Mo、Se、B、 $\text{Cr}^{6+}$ 、固形物、灼烧残渣、烧失量等使用；

- b) 酸化水样：是指采取水样时，要加入酸进行酸化的样品。酸化水样保存于玻璃瓶或聚乙烯塑料瓶中。每 1 000 mL 加入 10 mL HCl (1+1)或 HNO<sub>3</sub> (1+1)，供测定 Cu、Pb、Zn、Cd、Mn、Fe、Ni、Co、总 Cr、V、W、Sr、Ba、U、Th、可溶性 SiO<sub>2</sub> 等指标使用；
- c) 特殊指标水样的采集要求如下：
- 1) 测定 Hg 元素的水样。预先在盛水样的塑料瓶中加入 50 mL 浓 HNO<sub>3</sub> 和 10 mL 5% K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 溶液，再注入 1 000 mL 水样，摇匀，石蜡密封；
  - 2) 测定 Fe<sup>3+</sup>和 Fe<sup>2+</sup>的水样。采用聚乙烯塑料瓶或硬质玻璃瓶取水样 250 mL 加入 2.5 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(1+1)，0.5 ~ 1 g (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>，用石蜡密封瓶口，放置时间小于 30 h；
  - 3) 测定腐蚀性二氧化碳的水样。应采取二瓶水样，一瓶为原水样，另外一瓶 250 mL 原水样加入 2 g 经过纯化的 CaCO<sub>3</sub> 粉末（或纯大理石粉末），以石蜡密封瓶口，供测定用；
  - 4) 测定硫化物的水样。在 500 mL 玻璃瓶中先加入 10 mL 200 g/L Zn(Ac)<sub>2</sub> 溶液和 1 mol/L NaOH 溶液，然后加满水样，盖上瓶盖，反复振摇数次后，以石蜡密封瓶口，供测定用；
  - 5) 测定溶解氧的水样。取样前先准备一个容积为 200 ~ 300 mL 磨口玻璃瓶，用欲取水样洗涤 2 ~ 3 次，然后将虹吸管直接插入瓶底取样，待水样从瓶口溢出片刻，再慢慢将虹吸管从瓶中抽出，用移液管加入 1 mL 碱性碘化钾溶液，然后加入 3 mL 氧化锰溶液，每次加入应将移液管插入瓶底后放出溶液，迅速塞好瓶塞不留空间，摇均后密封。

### 6.2.2.3 河漫滩（湖泊、沼泽）沉积柱岩芯

6.2.2.3.1 对矿床规模大、开采历史长、污染严重的矿区和矿业活动影响地区的水系，应选择没有受人为扰动的河漫滩地区或开放湖泊、沼泽地，系统采集河漫滩（湖泊、沼泽）沉积柱岩芯样品。采样点部署原则如下：

- a) 在流经矿山的支流下游汇入主干河流处，布置采样点；
- b) 在通常年份的洪水能漫过的河堤较平缓地带，布置采样点；
- c) 确定具体采样位置前，应进行野外踏勘、实地观察与居民访问，以保证采样点及周围地区基本无人生产生活影响，且沉积岩芯层层理水平、清晰，无上、下层扰动和沉积缺失等。

6.2.2.3.2 每个河漫滩采样点需采集 3 个剖面，湖泊和湿地为 3 个平行钻孔，其中一个剖面（或钻孔岩芯）样品在采集时，每件样品要准确测量其体积、湿重和干重。一个剖面（或钻孔岩芯）用于测定无机元素含量，一个剖面（或钻孔岩芯）用于 <sup>210</sup>Pb、<sup>137</sup>Cs 同位素定年，一个剖面（或钻孔岩芯）用于有机污染物测定或作为副样保存。

6.2.2.3.3 河漫滩样品采集方法如下：

- a) 采样时间为枯水期或平水期。剖面深度为 1.5 ~ 2 m，或以见到水面为准；
- b) 进行 <sup>210</sup>Pb、<sup>137</sup>Cs 年龄测定的河漫滩垂向剖面或钻孔岩芯样，应为沉积物粒度较小、粘土矿物含量较多、较致密的沉积物剖面。该河漫滩沉积物应在一个水文年，超过一半以上时间被水淹没且无扰动；
- c) 样品采集时应避免使用铁锹、铁镐等易被重金属污染的工具，如条件有限，必须使用铁质工具时，要用竹片去除与金属采样器接触的土壤，再采集样品。每个样品采集完后，应清除干净采样工具上的泥土，再用于下个样品采集；
- d) 每个河漫滩垂向剖面或钻孔岩芯采样间距小于或等于 1 个样/2 cm，在年沉积速率较大的地区，采样间距可放稀至 1 个样/5 cm；
- e) 每件样品采集时需具有相同的体积；每个河漫滩垂向剖面或钻孔岩芯应有照片或素描图。

6.2.2.3.4 进行光释光 OSL 测年的样品，样品采集与前处理要求如下：

#### 6.2.2.3.4.1 样品采集

- a) OSL 采样工具一般为管长 12 ~ 22 cm，内径 2 ~ 6 cm 的钢管或不透光的塑料管；

- b) 采样前先剥去剖面表层至少 30 cm 厚度的物质, 以避免采集到表层曝光的样品。然后将采样管接触剖面一端塞上避光材料(黑布、黑色塑料袋、棉花等), 从另一端将管用锤垂直砸入新鲜剖面中, 取出管用相同材料塞紧里端, 并用胶带束紧两头, 写上样品编号后送实验室;
- c) 在采样管周围采集 200 ~ 300 g 左右的散样, 用于 U、Th 和 K 含量及含水量等年剂量的相关测量;
- d) 对于不适宜采集管样的环境, 可选取质地较为坚硬、体积较大、含有效测试粒度组份较多的块体, 用塑料等物体将其包好, 带回实验室进行前处理;
- e) 对于岩芯而言, 在岩芯剖开前在需要定年的层位锯出约 10 cm 的一段岩芯, 用不透光的黑塑料包好送到释光测年实验室;

#### 6.2.2.3.4.2 样品前处理

- a) 钢管样品初步处理:
  - 1) 将钢管样品分为 3 段, 其中两端样品长度各约 2 ~ 3 cm, 两端样品用于测定整个样品的含水量, 中间样品用于 OSL 测年;
  - 2) 两端样品称完湿重后在烘箱中烘干, 再称干重, 计算含水量和含水率。然后在上述样品中随机选取 20 ~ 30 g 左右, 用研钵和球磨机磨成“面粉状”(粒径 < 30  $\mu\text{m}$ ), 用于中子活化分析;
  - 3) 中间样品放到大烧杯中, 写上样品编号。加清水搅拌, 待澄清后倒掉上层清水, 以去掉部分杂质。
- b) 将大烧杯中滤完清水的样品放入通风橱中(烧杯之间的间隔应该在 3 ~ 5 cm 范围内, 以避免相互污染), 加入 10% 的盐酸并搅拌以去除碳酸盐, 采取少量多次的原则, 直到样品没有明显的反应。
- c) 加入少量 30% 的双氧水以处理去除有机质, 观察反应剧烈程度, 遵循少量多次的原则。在开始的两到三天, 每加完一次双氧水隔两小时左右搅拌以免泡沫溢出。
- d) 将双氧水处理后的样品加清水搅拌并静置后倒掉上层清液 3 ~ 5 次, 然后放入烘箱(60  $^{\circ}\text{C}$ )烘干。用 400 目(38  $\mu\text{m}$ )、250 目(63  $\mu\text{m}$ )、170 目(88  $\mu\text{m}$ )和 120 目(125  $\mu\text{m}$ )筛子对烘干后样品进行过筛。
- e) 按照以下方法, 用氟硅酸处理去除长石:
  - 1) 38 ~ 63  $\mu\text{m}$  样品处理方法:
    - 用小勺舀入一勺半(约 2 g) 38 ~ 63  $\mu\text{m}$  样品, 放入带有盖子的小瓶, 用 35% 的氟硅酸(约 50 mL)浸泡, 每天要玻璃棒搅拌样品三到五次左右。浸泡 10 ~ 15 d, 具体视情况而定;
    - 加入少量 10% 的盐酸搅拌清洗样品半小时然后用清水清洗三次, 清洗后放入烘箱将样品烘干, 装入小自封袋。
  - 2) 88 ~ 125  $\mu\text{m}$  样品的处理方法:
    - 配制密度为 2.62 ~ 2.66  $\text{g}/\text{cm}^3$  的多聚钨酸钠重液, 去除密度小于 2.62  $\text{g}/\text{cm}^3$  钾长石和密度大于 2.66  $\text{g}/\text{cm}^3$  的重矿物;
    - 将密度在 2.62 ~ 2.66  $\text{g}/\text{cm}^3$  之间的颗粒用 40% 的 HF 处理一小时, 目的是去除长石和颗粒表面受到  $\alpha$  射线影响的部分;
    - 将以上部分处理后的样品用 35% 的氟硅酸浸泡约 5 d, 每天要玻璃棒搅拌样品三到五次左右;
    - 加入 10 % 的盐酸搅拌清洗样品半小时然后用清水清洗三次, 清洗后, 用 88  $\mu\text{m}$  筛再过一遍, 以除去被酸溶蚀变小的残留的长石颗粒。最后放入烘箱将样品烘干, 装入小自封袋待测。

#### 6.2.2.4 农作物

6.2.2.4.1 在用矿区排水进行灌溉的农田区，在主干河流两侧布设农作物样品。可采取网格布点或根据土壤类型、土地利用现状和农作物种植类型等划分采样单元进行布点。水稻、小麦、玉米、油菜等大宗农作物样品采集数量需大于 30 件，其他农产品需大于 15 件。需要研究重金属元素在农作物不同部位分配特征的样品，可采集农作物的根、茎、叶、果实等，并准确测量和记录每个部位在整株植物所占的重量百分比。

6.2.2.4.2 于农产品收获盛期，在采样地块内视不同情况，采用棋盘法、梅花点法、对角线法、蛇形法等进行多点取样，然后等量混匀组成一个混合样品。每一混合样，大型果实由 5~10 个以上的植株组成（即分点样），小型果实由 10~20 个以上的植株组成。

6.2.2.4.3 农作物样品的采集量一般为待测试样量的 3~5 倍，每分点采集量则随样点的多少而变化。通常情况下，谷物、油料、干果类为 300~1 000 g（干重样），水果、蔬菜类为 1~2 kg（鲜重样），水生植物为 300~1 000 g（干重样），烟叶和茶叶等可酌情采集。

6.2.2.4.4 按照 5~10% 的比例同时采集外检样品，外检鲜样需现场同步采集、处理，由采样单位送测。

6.2.2.4.5 不同样品采集方法如下：

- a) 农作物样品采集：以 0.1~0.2 hm<sup>2</sup> 为采样单元，在采样单元内选取 5~20 个植株，水稻、小麦类采取稻穗、麦穗；玉米采取第一穗，即离地面最近的一穗，混合成样；
- b) 果树类样品采集：以 0.1~0.2 hm<sup>2</sup> 为采样单元，在采样单元内选取 5~10 个果树，每株果树纵向四分，从其中一份的上、中、下、内、外各侧均匀采摘，混合成样；
- c) 蔬菜类样品采集：以 0.1~0.2 hm<sup>2</sup> 为采样单元，在采样单元内选取 5~20 个植株，小型植株的叶菜类（白菜、韭菜等）去根整株采集；大型植株的叶菜类可用辐射形切割法采样，即从每株表层叶至心叶切成八小瓣为该植株分样；
- d) 烟草、茶叶类样品采集：以 0.1~0.2 hm<sup>2</sup> 为采样单元，在采样单元内随机选取 15~20 个植株，每株采集上、中、下多个部位的叶片混合成样，不可单取老叶或新叶作代表样；
- e) 据其药用部位，中药材的采集可参照 6.2.2.4.5 a)~6.2.2.4.5 d) 执行。

6.2.2.4.6 农作物样品可采用“矿区代码+样品属性码+顺序号”等方式进行样品编号。样品的定点与标绘、采样记录、重复样采集和质量监控等各项内容要求同 DZ/T 0258-2014。

6.2.2.4.7 样品采集还需注意以下事项：

- a) 采样时需注意样品的代表性。水果类样品的采集要注意树龄、株型、生长势、座果数量以及果实着生部位和方位；
- b) 农作物应在无风晴天时采集，雨后不宜采集。采样应避免病虫害和其他特殊的植株。若采集根部样品，在清除根部上的泥土时，不要损伤根毛；
- c) 同时采集植株根、茎、叶和果实样品时，应现场分类包装，同一采样点的同一作物使用统一编号；
- d) 新鲜样品采集后，应立即装入聚乙烯塑料袋，扎紧袋口，以防水分蒸发；
- e) 测定重金属的样品，尽量用不锈钢制品直接采取样品，避免样品与金属类工具接触。

6.2.2.4.8 农作物样品加工场地与加工用具要求如下：

- a) 制样工作场地应单独设风干室、加工室。房间向阳（严防阳光直射样品），通风、整洁、无扬尘、无易挥发化学物质；
- b) 晾干样品使用白色搪瓷盘或木盘；
- c) 脱粒、去壳、切碎用的小型脱粒机、小型脱壳机、不锈钢剪刀、木滚、硬质木搓板、无色聚乙烯薄膜等；

- d) 干燥后的样品可选用玛瑙、刚玉球磨机、玛瑙研钵、白色瓷研钵、石磨、不锈钢磨、旋风磨等进行磨碎；新鲜样品可选用不锈钢食品加工机、硅制刀、不锈钢切刀、不锈钢剪刀等切碎；
- e) 磨碎后的样品用 0.425（40 目）~ 0.250 mm（60 目）的尼龙筛过筛；
- f) 分装可选用带塞磨口玻璃瓶、具塞白色聚乙烯塑料瓶、具塞玻璃瓶、无色聚乙烯塑料袋或特制牛皮纸袋，规格视量而定。

#### 6.2.2.4.9 农作物样品采集后，按照以下要求进行缩分送样：

- a) 粮食等粒状样品应采用四分法缩分。先将粮食样品用小型脱粒机或凭借硬木搓板与硬木块进行手工脱粒，反复混合均匀，铺成一圆形，过中心线画十字线，把圆分为四等份，取对角线两等份。如此反复，缩分至所需数量为止；
- b) 水果等块状样品及大白菜、包菜等大型蔬菜样品应采用对角线分割法缩分。先用清水，再用蒸馏水将样品洗净晾至无水后，垂直放置，中间位置横切，然后上下两部分分别进行对角线切割，除去非可食部分，取所需量的样品；
- c) 小型叶菜类样品应采用随机取样法缩分。先用清水将样品洗净晾至无水后，将整株植株粗切后混合均匀，随机取所需足量的样品；
- d) 新鲜蔬菜、水果等样品在野外称重打浆，取 1 000 mL 于玻璃瓶中，及时送实验室待测；
- e) 新鲜蔬菜、水果也可风干晾晒至干样，或在 65 °C 以下无污染烘干。

#### 6.2.2.4.10 待测的农作物试样分干样和鲜样两种。干样用于测定重金属元素和蛋白质、脂肪、纤维含量等；鲜样用于测定有关评价标准规定的鲜样指标及易挥发有机污染物等。分别按照以下方法及要求，加工农作物的干样和鲜样：

- a) 干样加工方法：
  - 1) 粮食样品用清水清洗干净后，放在干净的托盘上，低于 65 °C 烘干后直接磨碎。带皮粮食样应用清水冲洗，晾干，去皮后磨碎；
  - 2) 用不锈钢刀或剪刀将根、茎、叶、果蔬菜水果等样品切剪成 0.5 ~ 1 cm 大小的块状、条状，在晾干室内或高出地面 1.5 m 以上架子上摊放于晾样盘中风干，或将切碎样品放在 85 ~ 90 °C 烘箱鼓风烘 1 h，再在 60 ~ 70 °C 下通风干燥 24 ~ 48 h 成风干样品。有刮风扬尘天气时或空气质量差的地区，严禁在室外晾晒样品；
  - 3) 将风干样品置于玛瑙研钵进行研磨，使样品全部通过 0.425（40 目）~ 0.250 mm（60 目）尼龙塑料筛，混合均匀成待测试样。
- b) 鲜样加工方法：
  - 1) 新鲜样品用清水清洗干净后，用干净纱布轻轻擦干样品后直接用组织捣碎机捣碎，混合均匀成待测试样；
  - 2) 含纤维较多的样品，如根、茎秆、叶子等不能用捣碎机捣碎，可用不锈钢刀或剪刀切成小碎片，混合均匀成待测试样。

#### 6.2.2.4.11 测试锌、铅的样品，避免使用橡胶类工具，以免污染样品。不同农作物送测部位见表 1。富硒稻米检测样品为三级大米，加工要求见 GB/T 1354。

表1 稻米、小麦、果、菜、烟和茶测试部位及要求表

样品种类	测试部位
小麦、水稻、玉米	籽实去杂物后，磨碎，过 20 目（0.85 mm）筛
苹果、梨等薄皮水果	去蒂、去芯（含籽），带皮果肉和去皮果肉分别供测
柑橘、柚子等厚皮水果	外皮和果肉（含内皮和筋丝）分别供测
番茄、茄子	去蒂供测

表 1 稻米、小麦、果、菜、烟和茶测试部位及要求表（续）

样品种类	测试部位
黄瓜	去果柄供测
萝卜、胡萝卜	叶、根（用水轻轻洗去根泥，稍晾干）分别供测
大白菜、小白菜	去根、去外侧腐叶，供测
烟叶、茶叶	鲜叶、干叶分别供测

### 6.2.2.5 根系土

6.2.2.5.1 在采集农作物样品的对应点位上，采集根系土样品，根系土样品数量同农作物样品数量。

6.2.2.5.2 根系土为植物根系生长周边的土壤。采集时，在采样点旁边相对平坦处，铺开一张面积为 2~3 m<sup>2</sup> 一次性塑料布，将采集植株周围的土壤松动后，连根拔出，随后在塑料布上将植株根系周围的土壤抖落到塑料布上。

6.2.2.5.3 每个根系土样品均有多个子样等份混合而成，每个根系土子样要与农作物子样对应采集。

6.2.2.5.4 根系土样品采集时，严禁与金属采样器接触。

6.2.2.5.5 不同种类农作物，其根系土采集深度要求如下：

- a) 粮食与蔬菜样品对应的根系土采集深度为 0~20 cm；
- b) 果树类样品采集对应的根系土采集深度为 0~60 cm，采集部位为毛根区；
- c) 根系土样品加工同 6.2.2.1.5。

### 6.2.2.6 人发、食物

6.2.2.6.1 在重金属污染严重、已发生明显生态效应的地区，可选择代表性的污染地区和对照区采集人发、食物、大气干湿沉降物和大气颗粒物等样品。

6.2.2.6.2 人发样品要求取枕部同一部位的头发。头发样品先经 1% 的洗涤剂浸泡，再用蒸馏水冲洗干净，最后用蒸馏水清洗三次，于 60℃ 烘干。

6.2.2.6.3 选择以当地粮食、蔬菜、肉、蛋、奶为主要食物来源的代表性住户，实地调查并记录三餐饮食结构，采集三餐熟食样品，每件样品重 250~500 g，样品盛装在干净的自封袋中，立即放入冷臧室，12 小时内送实验室分析。

6.2.2.6.4 人发、食物等样品应同点位配套采集，样品采集数量应能满足评价工作需要。

### 6.2.2.7 大气干湿沉降物

6.2.2.7.1 北方地区，采样器可选择内径 20~30 cm，高 30~40 cm 圆筒形的接尘缸。南方地区，可选择口径 15~20 cm，高 50~60 cm 圆筒形的接尘缸；接尘缸的材质可为塑料、陶瓷玻璃或不锈钢等。

6.2.2.7.2 接尘缸和缸盖等采样器具在使用前，用 10% (V/V) HCl 浸泡 24 h 后，再用纯水洗净。清洗试剂为分析纯试剂和蒸馏水或同等纯度的水。

6.2.2.7.3 将清洗干净的接尘缸放置在距地面 10~15 m 的平坦处，如放置屋顶平台上，采样口应距平台 1~1.5 m。选择采样点时，应先考虑接尘缸不易损坏的地方，还要考虑操作者易于更换接尘缸。

6.2.2.7.4 采样点四周 (25 m × 25 m) 无遮挡雨、雪、风的高大树木或建筑物，并考虑风向（顺风、背风）、地形等因素，避开烟囱、交通道路等点、线污染源。

6.2.2.7.5 寒冷季节，应防止冻裂接尘缸；在夏季多雨季节，应注意缸内积水情况，为防水满溢出，及时更换新缸。

6.2.2.7.6 在燃放烟花爆竹的节日、婚庆、丧事期间，需用清洁的缸盖将集尘缸盖好。燃放烟花爆竹结束后，再把盖拿掉，继续接干湿沉降物。

6.2.2.7.7 不同季节干沉降物质的量和所含物质浓度不同，所以采样时间至少为一年。一般地区，干湿沉降接收周期为一年，干湿沉降量较大的地区，可按月或季度定期更换接尘缸（ $n \pm 2(d)$ ）。

6.2.2.7.8 当大气干湿沉降物样品总量较少时，采取以下方法计算干沉降总量：

- a) 首先用尺子测量接尘缸的内径（按不同方向至少测定 3 处，取其算术平均值），用淀帚把缸壁擦洗干净，将缸内溶液和尘粒全部转入 500 mL 烧杯中；
- b) 在电热板上蒸发，使体积浓缩到 10 ~ 20 mL，冷却后用水冲洗杯壁，并用淀帚把杯壁上的尘粒擦洗干净，将溶液和尘粒全部转移到已恒重的 100 mL 瓷坩埚中，放在搪瓷盘里，在电热板上小心蒸发至干（溶液少时注意不要崩溅），然后放入烘箱于  $65\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  烘干，称量至恒重，并按公式 1 进行计算：

$$M = \frac{W_l - W_o - W_c}{S \times n} \times N \times 10^4 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$M$ ——降尘总量，单位为 $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{N} \cdot \text{d}$ ；

$W_l$ ——降尘、瓷坩埚和乙二醇水溶液蒸发至干，并在 $65\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒重后的重量，单位为 $\text{g}$ ；

$W_o$ ——在  $65\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  烘干的瓷坩埚重量，单位为 $\text{g}$ ；

$W_c$ ——与采样操作等量的乙二醇水溶液蒸发至干，并在 $65\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒重后的重量，单位为 $\text{g}$ ；

$S$ ——接尘缸缸口面积，单位为 $\text{cm}^2$ ；

$n$ ——采样天数，（准确到0.1 d）；

$N$ ——计量天数（计量单位为月， $N=30$ ；计量单位为年， $N=365$ ）。

6.2.2.7.9 当干湿沉降量较多时，采取以下方法获得干湿沉降元素总量。

#### 6.2.2.7.9.1 野外处理

- a) 将沉降缸放置（约 2 ~ 3 d）使上部溶液澄清。用虹吸法吸取上清液至另一容器中，测定上清液的总体积或重量。将剩余的沉淀物和悬浊液转移至合适的容器中，测定其总体积和重量。
- b) 将上清液搅拌均匀。取上清液 2 500 mL 至塑料容器中，用于检测溶液中固形物和其他须检测项目。其中取上清液 500 mL 置于塑料容器中，加入 1:1 硝酸（保护剂）10 mL，用于检测溶液中金属元素。取上清液 500 mL 置于塑料容器中，加入 5 % 重铬酸钾（保护剂）溶液 5 mL，用于检测溶液中 Hg 元素。余下的 1 500 mL 上清液，移至塑料容器中，作为清水样或副样，将准备好的样品密封送至实验室。
- c) 将剩余的沉淀物和悬浊液转移至合适的容器中，密封送至实验室。
- d) 若样品无法澄清，则全部用  $0.45\text{ }\mu\text{m}$  的聚酯纤维滤膜全部过滤，并测定清液的总体积或重量，同 6.2.2.7.9.1 的 a) 取样送实验室；滤网上部物质处理同悬浮物处理方法。

#### 6.2.2.7.9.2 实验室处理

- a) 将 6.2.2.7.9.1 的 c) 样品用  $0.45\text{ }\mu\text{m}$  的聚酯纤维滤膜全部过滤，记录滤液体积，弃去滤液。滤网上部物质风干或在  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下烘干，称重，制成分析样。
- b) 按相应分析方法将 6.2.2.7.9.1 的 b) 样品和 6.2.2.7.9.2 的 a) 样品测定固形物和金属元素，并换算总体积的固形物及金属总量。溶液样品应经过硝化处理后，再进行测定；
- c) 按照公式(2)、公式(3)和公式(4)计算降尘中金属含量：

$$\text{降尘总质量} = 6.2.2.7.9.2\text{的a)分析样质量} + \text{溶液固形物总质量} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{降尘某金属元素含量} = \frac{6.2.2.7.9.2\text{的b)分析样某金属量} + \text{溶液某金属量}}{\text{降尘总质量}} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{总金属量} = \text{某金属含量} \times \text{实际分析样质量或液体总体积} \dots\dots\dots (4)$$

### 6.2.2.8 大气颗粒物

6.2.2.8.1 在采样前，需对超细玻璃纤维滤膜进行准确称重。将已恒重和称量好的滤膜，用塑料镊子放入洁净采样夹内的滤网上，牢固压紧至不漏气。每测定一次浓度，需更换滤膜；如测日平均浓度，样品采集在一张滤膜上。

6.2.2.8.2 每测定一次浓度，采样时间不得少于 1 h，测定日平均浓度间断采样时不得少于 4 次；同时采集 TSP、PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 样品时，需利用不同直径的大气颗粒物切割器，在同一个地点三台采样器同时采集。

6.2.2.8.3 采样点应避开污染源及障碍物，采样器入口距地面高度不得低于 1.5 m，样品采集条件为无大风和降雨等气候现象。采集现场测试并记录大气压力和温度。

6.2.2.8.4 采样结束后，用塑料镊子取出滤膜，将有尘面的滤膜两次对折，放入纸袋，并做好采样记录，各项操作细节见 GB 6921。

### 6.2.3 样品分析测试指标

6.2.3.1 土壤、水系沉积物、根系土、河漫滩沉积物、大气干湿沉降物、颗粒物等样品分析 As、Ag、Ba、Be、Cd、Co、Cr、Cu、F、Hg、Mn、Mo、Ni、Pb、Sb、Se、Sn、Sr、Th、Tl、V、U、W、Zn，土壤和根系土样品加测 pH、TOC 等指标，代表性的根系土样品加测有机汞、无机汞、Cr<sup>3+</sup>、Cr<sup>6+</sup> 和重金属的不同相态，河漫滩样品加测 pH、TOC、<sup>137</sup>Cs、<sup>210</sup>Pb 和 OSL 测试。测试 OSL 的样品，需对采样管周围采集的散样，进行 U、Th 和 K 含量及含水量测定。

6.2.3.2 水样分析 As、Ag、Ba、Be、Cd、Co、Cr、Cu、F、Hg、Mn、Mo、Ni、Pb、Sb、Se、Sn、Tl、V、Zn、pH 等指标。矿山废水可加测硫化物、氟化物、悬浮物、氨氮、As<sup>3+</sup>、As<sup>5+</sup>、Cr<sup>3+</sup>、Cr<sup>6+</sup>；饮用水可加测总大肠菌群、耐热大肠菌群、大肠埃希氏菌、菌落总数、Cr<sup>6+</sup>、氰化物、氟化物、氯化物、硝酸盐、硫酸盐、三氯甲烷、四氯化碳、溴酸盐、甲醛、亚硝酸盐、氯酸盐、Al、Fe、溶解性总固体、总硬度、COD 等；存在富营养化的水库、湖泊等水体可加测叶绿素 a(chla)、总磷(TP)、总氮(TN)、透明度(SD)和高锰酸钾指数(COD<sub>Mn</sub>)。

6.2.3.3 人发、农作物与熟食分析无机 As、Cd、Hg、Pb、F、Cr、Se、Sn、Cu、Zn 等指标。

6.2.3.4 不同矿区，可根据矿床的成矿元素与伴生元素种类，自行增加或减少测试指标。

6.2.3.5 国标中规定的指标测试方法，应首选国标规定的方法，采用其他分析方法也应达到国标规定的质量控制要求。国标中未做规定的指标分析方法，应选择行业或部门标准规定的分析方法，并达到相应的质量监控要求。元素有效态、元素相态、元素价态、生物样、水质样、有机污染物分析方法与质量监控见附录 B。

### 6.2.4 土壤和水系沉积物污染程度评价

6.2.4.1 对 10~20 cm 土壤中各元素含量进行分布形态检验与数理统计，对不服从正态分布或对数正态分布的数据进行异常值剔除，直至服从或近似服从正态分布或对数正态分布，选取算术平均值或中位值作为该矿山土壤元素含量背景值。

6.2.4.2 对河漫滩沉积物 <sup>137</sup>Cs、<sup>210</sup>Pb 和 OSL 测年结果和 As、Cd 等重金属元素含量进行整理，研究获取矿业活动影响前研究区沉积物中元素自然背景值。

6.2.4.3 对 0~10 cm 土壤和河漫滩表层沉积物的各元素进行污染程度评价，计算公式为：

$$I_{geo} = \log_2(C_n / kB_n) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

*I<sub>geo</sub>*——地累积指数；

*C<sub>n</sub>*——元素 n 在土壤/河漫滩表层沉积物中的实测含量，单位为%、mg/kg 或 μg/kg；

$B_n$ ——土壤/河漫滩沉积物中该元素的背景值，单位为%、mg/kg 或  $\mu\text{g/g}$ ；

$k$ ——为校正系数。

元素背景值 $B_n$ 取值不同时， $k$ 的取值如下：

a) 当 $B_n$ 取值为全国或区域的土壤背景值时， $k = 1.5$ ；

b) 当 $B_n$ 取值为 10 ~ 20 cm 土壤的元素背景值或河漫滩沉积物元素背景值时， $k = 1$ 。

根据计算出的 $I_{geo}$ ，参照表 2，进行矿区土壤和水系沉积物重金属元素的污染程度评价。

表2 地累积指数及对应的污染程度分级

等级	1	2	3	4	5	6	7
$I_{geo}$	$I_{geo} \leq 0$	$0 < I_{geo} \leq 1$	$1 < I_{geo} \leq 2$	$2 < I_{geo} \leq 3$	$3 < I_{geo} \leq 4$	$4 < I_{geo} \leq 5$	$I_{geo} \geq 5$
污染程度	无	无到中等	中等	中等到重度	重度	重度到极度	极度

6.2.4.4 对于表层土壤人为扰动强烈，未进行 0~10 cm 分层采集的区域，对 0~20cm 表层土壤重金属元素污染程度评价方法参照 6.2.4.3，元素的背景值可采用区域土壤或全国土壤元素背景值。

6.2.4.5 对矿区表层土壤和水系沉积物重金属元素进行潜在生态风险评价，计算公式为：

$$E_r^i = T_r^i \times \frac{C_d^i}{C_l^i} \dots\dots\dots (6)$$

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$E_r^i$ ——元素  $i$  的生态风险系数；

$RI$ ——As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb 和 Zn 等 8 个重金属元素的综合生态风险指数；

$T_r^i$ ——元素  $i$  的毒性响应系数（表 3）；

$C_l^i$ ——元素的评价标准（表 3）；

$C_d^i$ ——表层土壤/表层水系沉积物中元素  $i$  的实测值。

据计算出的 $RI$ 和 $E_r^i$ ，参照表4，进行矿区土壤重金属元素的潜在生态风险评价。

表3 重金属元素的毒性系数

元素	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
毒性响应系数	10	30	2	5	40	2	5	1
评价标准(mg/kg) <sup>a</sup>	40	1.0	300	400	1.5	200	500	500

<sup>a</sup> 为 GB 15618-1995 中的土壤三级标准值，As、Cr 为旱地标准值

表4 潜在生态危害指数法污染程度划分

$E_r^i$	污染程度	$RI$	危害级别
$E_r^i < 40$	轻微生态危害	$RI < 150$	轻微生态危害

表4 潜在生态危害指数法污染程度划分(续)

$E_r^i$	污染程度	$RI$	危害级别
$40 \leq E_r^i < 80$	中等生态危害	$150 \leq RI < 300$	中等生态危害
$80 \leq E_r^i < 160$	强生态危害	$300 \leq RI < 600$	强生态危害
$160 \leq E_r^i < 320$	很强生态危害	$RI \geq 600$	很强生态危害
$E_r^i \geq 320$	极强生态危害		

6.2.5 水体污染程度评价

6.2.5.1 不同水体环境质量评价标准为:

- a) 煤炭、铝、铅、锌、铜、镍、钴、镁、钛、稀土、钒、铁等矿区废水排放标准可参照 GB 20426、GB 25465 ~ 25468、GB 26451 ~ 26452 和 GB 28661;
- b) 河水、泉水等地表水评价标准参照 GB 3838;
- c) 地下水评价标准参照 GB/T 14848;
- d) 饮用水评价标准为 GB 5749;
- e) 农田灌溉水评价标准为 GB 5084。

6.2.5.2 对水质各项分析指标最大值、最小值、均值、标准差和超标率等项进行统计分析。

6.2.5.3 对地表水和地下水水质评价方法如下:

- a) 水质单指标评价, 分别按照 GB 3838 和 GB/T 14848 所列分类指标, 划分为五类, 代号与类别代号相同, 不同类别标准值相同时, 从优不从劣。  
 示例: 地下水挥发酚类 I、II 类标准值均为 0.001 mg/L, 若水质分析结果为 0.001 mg/L 时, 应定为 I 类, 不定为 II 类。
- b) 水质综合评价, 采用加附注的评分法, 具体步骤如下:
  - 1) 首先进行各单项组分评价, 划分组分所属质量类别;
  - 2) 对各类别按下列规定表 5 分别确定单项组分评价分值  $F_i$ ;

表5 单项组分评价分值表

类别	I	II	III	IV	V
$F_i$	0	1	3	6	10

3) 按照公式(8)和公式(9)计算综合评价分值  $F$ 。

$$F = \sqrt{\frac{F^2 + F_{\max}^2}{2}} \dots\dots\dots (8)$$

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i \dots\dots\dots (9)$$

式中:

- $\bar{F}$  ——各单项组分评分值  $F_i$  的平均值;
- $F_{\max}$  ——单项组分评价分值  $F_i$  中的最大值;
- $n$  ——项数。

4) 根据  $F$  值, 按表 6 规定划分水体质量级别。

- c) 水质定性评价：当水质采集分析样品在 5 个以上时，采用水质类别比例法，即根据评价水体中各水质类别数量占总数的百分比来定性评价其水质状况。水质类别比例与水质定性评价分级对应关系见表 7。

表6 综合组分评价分值表

类别	优良	良好	较好	较差	极差
<i>F</i>	< 0.80	0.80 ~ < 2.50	2.50 ~ < 4.25	4.25 ~ < 7.20	> 7.20

表7 水质定性评价分级表

水质类别比例	水质状况	表征颜色
I ~ III 类水质比例 ≥ 90%	优	蓝色
75% ≤ I ~ III 类水质比例 < 90%	良好	绿色
I ~ III 类水质比例 < 75%，且劣 V 类比例 < 20%	轻度污染	黄色
I ~ III 类水质比例 < 75%，且 20% ≤ 劣 V 类比例 < 40%	中度污染	橙色
I ~ III 类水质比例 < 60%，且劣 V 类比例 ≥ 40%	重度污染	红色

6.2.5.4 对农田灌溉水、生活饮用水和矿区废水采用标准指数法对水质环境质量进行单指标评价。标准指数 > 1，表明该水质因子已超过了规定的水质标准，指数值越大，超标越严重。标准指数计算公式分以下两种情况：

- a) 对于评价标准为定值的水质参数，其标准指数计算公式为：

$$P_i = \frac{C_i}{C_{si}} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$P_i$ ——第  $i$  个水质参数的标准指数，无量纲；

$C_i$ ——第  $i$  种水质参数实测浓度值，mg/L；

$C_{si}$ ——第  $i$  个水质参数的评价标准值，mg/L。

- b) 对于评价标准为区间值的水质参数（如 pH 值），其标准指数计算公式为：

$$P_{pH} = \frac{7.0 - pH}{7.0 - pH_{sd}} (pH \leq 7 \text{ 时}) \dots\dots\dots (11)$$

$$P_{pH} = \frac{pH - 7.0}{pH_{su} - 7.0} (pH > 7 \text{ 时}) \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$P_{pH}$ ——pH 的标准指数，无量纲；

$pH$ ——pH 实测值；

$pH_{su}$ ——标准中 pH 的上限值；

$pH_{sd}$ ——标准中 pH 的下限值。

6.2.5.5 水质主要污染指标确定方法。当水质超过 III 类标准时，先按照不同指标对应水质类别的优劣，选择水质类别最差的前三项指标作为主要污染指标。当不同指标对应的水质类别相同时，计算超标倍数，将超标倍数按其超标倍数大小排序，取超标倍数最大的前三项作为主要污染指标。

6.2.5.6 采用营养状态指数对水质进行营养状态评价：

a) 综合营养状态指数计算公式与相关权重计算公式分别为:

$$TLI(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j \times TLI(j) \dots\dots\dots (13)$$

$$W_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2} \dots\dots\dots (14)$$

式中:

$TLI(\Sigma)$ ——综合营养状态指数;

$W_j$ ——第j种参数的营养状态指数的相关权重;

$TLI(j)$ ——第j种参数的营养状态指数;

$r_{ij}$ ——第j种参数与基准参数叶绿素a(chla)的相关系数, 见表8;

$m$ ——评价参数的个数。

表8 中国湖泊(水库)部分参数与 chla 的相关系数  $r_{ij}$  及  $r_{ij}^2$  值

参数	叶绿素 a(chla)	总磷(TP)	总氮(TN)	透明度(SD)	高锰酸钾指数(COD <sub>Mn</sub> )
$r_{ij}$	1	0.84	0.82	-0.83	0.83
$r_{ij}^2$	1	0.7056	0.6724	0.6889	0.6889

b) 单指标营养状态指数计算公式为:

$$TLI(chla) = 10(2.5 + 1.086 \ln chla) \dots\dots\dots (15)$$

$$TLI(TP) = 10(9.436 + 1.624 \ln TP) \dots\dots\dots (16)$$

$$TLI(TN) = 10(5.453 + 1.694 \ln TN) \dots\dots\dots (17)$$

$$TLI(SD) = 10(5.118 + 1.94 \ln SD) \dots\dots\dots (18)$$

$$TLI(COD_{Mn}) = 10(0.109 + 2.661 \ln COD_{Mn}) \dots\dots\dots (19)$$

式中:

叶绿素a(chla)单位为mg/m<sup>3</sup>, 透明度SD单位为m, 其他参数单位均为mg/L。

c) 水体营养状态分级

采用0 ~ 100的一系列数字对水体营养状态、污染程度进行分级与定性评价, 见表9。

表9 水质类别与评分值对应表

营养状态分级	评分值 $TLI(\Sigma)$	定性评价
贫营养	$TLI(\Sigma) \leq 30$	优
中营养	$30 < TLI(\Sigma) \leq 50$	良好
轻度富营养	$50 < TLI(\Sigma) \leq 60$	轻度污染
中度富营养	$60 < TLI(\Sigma) \leq 70$	中度污染
重度富营养	$70 < TLI(\Sigma)$	重度污染

## 6.2.6 农作物污染程度与人体健康风险评价

### 6.2.6.1 农作物污染程度评价

6.2.6.1.1 农作物可食部分中无机 As、Cd、Hg、Pb、F、Cr、Sn、Cu、Zn 等元素含量进行最大值、最小值、均值、标准差等项统计分析。

6.2.6.1.2 参照国家食品卫生标准，对各项重金属元素的超标率和超标倍数进行统计。

6.2.6.1.3 研究根系土中重金属元素全量、重金属元素不同相态（不同价态）含量、pH、TOC、质地等指标对农作物籽实吸收重金属元素含量的影响，提出降低农作物吸收重金属元素建议。

### 6.2.6.2 人体健康风险评价

6.2.6.2.1 根据评价区代表性住户粮食、蔬菜、肉、蛋、糖、奶、酒、饮料及饮水等主要食物中重金属元素含量，结合实地调查获得的三餐饮食结构，计算成人每天因饮食摄入到体内的 As、Cd、Hg 等重金属元素总量，即日摄入量，计算公式如下：

$$ADI_i = \sum_{j=1}^n C_{i,j} \times D_j \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$ADI_i$ ——元素*i*日摄入量，单位 $\mu\text{g}/\text{天}$ ；

$D_j$ ——*j*大类食品的日摄入量，单位 $\text{g}/\text{天}$ ；

$C_{i,j}$ ——元素*i*在*j*大类食品（谷物类、蔬菜类等）中的含量，单位 $\mu\text{g}/\text{g}$ ；其中， $C_{i,j}$ 为某一大类食品中各小类食品（如谷物类中的水稻、小麦、玉米）中元素含量按所采集样本量的加权平均；

*n*——大类食品种类数。

6.2.6.2.2 表 10 为 60 kg 成人日摄入重金属元素的可接受值，依据上述计算结果可对评价区人群重金属元素膳食摄入量安全性进行评价。

表10 成人日摄入 As、Cd、Hg、Pb、Cr 可接受量(ADI 值)表

种类	As	Cd	Hg	Pb	Cr
ADI 值	129	50	34	214	200
注：ADI 值依据联合国粮农组织和世界卫生组织 (FAO/WHO) 标准给出 (JECFA, 1988; JECFA, 1999; JECFA, 2011; JECFA, 2013)。单位： $\mu\text{g}/(\text{天}\cdot\text{人})$ 。					

6.2.6.2.3 利用公式(16)，同样可以计算 P、Ca、K、Mg、Na、Se、Cu、Zn、F、Mn 等常量元素与微量元素日摄入量，依据中国居民膳食营养素参考摄入量(RDA)标准（表 11），对研究区人群有益元素膳食摄入量是否缺乏进行评价。

表11 中国食品中常量元素和微量元素日摄入量(RDA)值

种类	P	Ca	K	Mg	Na	Se	Cu	Zn	F	Mn
RDA 值	700	800	2000	350	2200	50~250	2	15	$\leq 4$	3.5
注 1：RDA 值依据中国居民膳食营养素参考摄入量标准给出，单位： $\text{mg}/\text{天}\cdot\text{人}$ ；										
注 2：Se 的标准参考世界卫生组织 WHO，单位： $\mu\text{g}/\text{天}\cdot\text{人}$ 。										

6.2.6.2.4 根据调查评价区土壤、大气、水体与食物中重金属元素含量、重金属元素毒性及人体暴露途径与暴露强度等，进行人体健康风险评价，评价方法参照附录 D 执行。

6.2.6.2.5 研究矿床（包括富含重金属元素的黑色岩系、煤系地层等地质体）风化、矿山采选冶过程中重金属元素共生组合、迁移富集、赋存状态等变化规律及影响生物（农作物及水生生物）吸收重金属元素的各种因素，结合矿床潜在生态风险评价、矿业活动影响地区的重金属元素累积速率等结果对调查评价区的生态风险进行预警，并提出降低生态风险的对策建议。

## 7 污染场地生态地球化学评价

### 7.1 资料收集与分析

- 7.1.1 收集评价区地质、地球化学、水文地质、地理地貌、气象条件与土层结构等资料。
- 7.1.2 收集工厂产品种类、建厂时间、生产规模、三废排放量、环境污染事件、污染物存放等信息。
- 7.1.3 分析收集到的资料信息，进行污染场地实地踏勘，制定污染场地生态地球化学评价方案。
- 7.1.4 污染场地生态地球化学评价内容包括污染识别、风险评价、措施建议等。

### 7.2 污染识别

#### 7.2.1 采样位置与样品数量

- 7.2.1.1 根据工厂产品类型、生产历史、污染物毒性和扩散途径等，以厂区为核心，由工厂向外 100~1000 m 范围内布置样品采集点位。调查评价范围视影响程度可自行调整。
- 7.2.1.2 重点对疑似污染的地区进行样品采集，如场地内的储罐、污水管线、危险物质储存库、“跑冒滴漏”严重的生产装置区、采选冶污染影响区，以及受废气排放影响区等，其他地区样品密度适当放稀。对于污染较均匀的场地和地貌严重破坏的场地，以及无法确定场地污染位置时，可采用网格法均匀布点。
- 7.2.1.3 如工矿企业对环境污染的主要方式为含有污染物的废气排放，应部署大气干湿沉降物样品。
- 7.2.1.4 样品数量应足以判别场地是否被污染，布点应符合表 12 的规定。

表12 土壤、水样品最低采样数量表

场地面积 (m <sup>2</sup> )	土壤	地下水或地表水	大气干湿沉降物
5 000 以下	8	3	1
5 000	12 (20m×20m)	5	1
25 000	28 (30m×30m)	8	2
100 000	40 (50m×50m)	10	2
500 000	78 (80m×80m)	15	3
大于 1 000 000	100 (100m×100m)	大于 20	4

7.2.1.5 深层采样点的布置应根据确认采样所揭示的污染物垂直分布规律来确定，但任何情况下，深层采样点数不少于该区域采样点总数的 10%。

#### 7.2.2 样品种类

- 7.2.2.1 污染重点地区，土壤样品应包括表层土壤和深层土壤，需确定污染物在垂向上的影响深度及变化趋势时，应布设土壤剖面样；场地污染一般地区，只采集 0~0.3 m 表层土壤。
- 7.2.2.2 在采样范围内，或工厂污染影响地区有河流、池塘、水库等地表水时，应采集地表水，同时考虑在地表水径流的下游布点。选择污染较重地区或污染场地中存在迁移下渗能力较强的污染物时，应布置采集深层土壤、地下水样和土壤剖面样。
- 7.2.2.3 根据土层性质、污染物种类、是否有回填土等情况，自行确定深层土壤、地下水水样的采集深度、土壤剖面深度和采样密度等。

7.2.2.4 大气干湿沉降物的布点应充分考虑污染源位置，以及评价区常年主导风向。在污染源附近与下风向区域加密部署，在上风向区域适当部署。根据评价工作需要，接收周期可设定为月、季度、半年或一年。

### 7.2.3 样品采集与样品测试

#### 7.2.3.1 土壤样品采集

7.2.3.1.1 表层土壤样品采集时，应该先把表层硬化地面和一些大的砾石、树枝等杂物剔除，然后用不锈钢铲、塑料铲或竹铲等进行土壤样品采集。

7.2.3.1.2 当采集的表层土壤样品深度较大时，需用洛阳铲或螺旋钻先将铲子或钻孔达到所需深度后，获得一定高度的土柱，然后用不锈钢铲、塑料铲或竹铲等去除土柱外围的土壤，获取土芯作为土壤样品。

7.2.3.1.3 深层土壤和土壤剖面样品采集时，可根据污染场地所在地区的地质条件、场地钻探的作业条件和场地勘察的方案要求来选择采样设备，包括人力钻探设备（如螺旋取土器、洛阳铲等）和机械钻探设备（如冲击钻、液压钻和螺旋钻等）。取原状土时，需根据土壤类型和污染物理化性质等选用劈管采样器、薄壁采样器、套管采样器或活塞采样器等。

7.2.3.1.4 挥发性有机污染物采集时，用非扰动采样器将土样直接推进顶空瓶中。现场采样时，可采用手持式实时分析仪器进行顶空法测试。禁止对样品进行混合或均质化处理。

7.2.3.1.5 土壤样品采集后，应根据污染物理化性质等，选用合适的容器保存。有机污染土壤样品应在4℃温度条件下保存和运输，样品保存条件见表13。

7.2.3.1.6 样品采集时使用GPS定位，并进行详细的观察记录，主要包括：样品名称和编号；气象条件；采样时间；采样位置；采样深度；样品颜色、气味、质地，以及采样人员、采样日期等。

#### 7.2.3.2 水样采集

7.2.3.2.1 地下水采样一般应建地下水监测井。监测井的建设过程分为设计、钻孔、过滤管和井管的选择和安装、滤料的选择和装填，以及封闭和固定等。监测井的建设可参照HJ/T 164-2004中的有关要求。所用的设备和材料应清洗除污，建设结束后需及时进行洗井。

7.2.3.2.2 应采集代表性水样。采集前，应充分抽汲洗井，抽汲水量一般不得少于井内水体积的3倍，待电导率、浊度、温度等水质参数稳定后再进行采样。

7.2.3.2.3 高密度非水溶性有机物采样位置应在含水层底部和不透水层的顶部，低密度非水溶性有机物采样位置应在含水层的顶部。

7.2.3.2.4 洗井和采样时采用慢速汲取，避免监测井水位大幅度下降，防止挥发性有机物的损失和金属离子的氧化。

7.2.3.2.5 监测井建设记录、采样记录、样品保存、容器和采样体积要求等参照HJ/T 164-2004，严防样品采集过程中的交叉污染，并按照不少于总数10%的现场平行样、现场空白样、运输空白样和清洗空白样等进行质量控制样品的采集。

7.2.3.2.6 应针对不同检测项目选择不同样品保存方式，无机物通常用塑料瓶（袋）收集样品，挥发性和半挥发性有机物宜使用具有聚四氟乙烯密封垫的直口螺口瓶收集样品，样品保存条件见表13。

7.2.3.2.7 应采用冷藏保温箱运输，并在保存时限内运至实验室。

#### 7.2.3.3 大气干湿沉降物样品采集

大气干湿沉降物样品采集同6.2.2.7。

#### 7.2.3.4 样品测试

7.2.3.4.1 土壤、大气干湿沉降物和水样的测试指标应根据工厂可能的污染物种类确定，可参考附录 E 自行确定，测试单位应是计量认证合格或行业认可的实验室。

7.2.3.4.2 样品分析方法首选国家标准和行业标准中规定的方法，选用其他分析方法，其分析质量参数必须达到国标或行标分析方法要求；国内没有标准分析方法的一些有机污染物项目，参照美国环境保护署(EPA)给出的方法。

表13 土壤和水样采集容器、保存条件、样品体积及保存时间要求

监测项目	容器	保存条件	样品最小体积 或重量	最长保留时间
金属				
六价铬	P, G, T	4 °C低温保存	500 mL (水) 250 g (土壤)	24 小时 (水)；萃取前 30 天，萃取后 4 天 (土壤)
汞	P, G, T	加入 $K_2Cr_2O_7$ 和 $HNO_3$ 使 $pH < 2$ , 4 °C低温保存	500 mL (水) 250 g (土壤)	28 天 (水和土壤)
其他金属 (除 $Cr^{6+}$ 、Hg 外)	P, G, T	加 $HNO_3$ 使 $pH < 2$ , 4 °C低温保存	500 mL (水) 250 g (土壤)	180 天 (水和土壤)
有机化合物				
总石油烃(TPH)-可挥发	G, 用聚四氟乙烯薄膜密封瓶盖	4 °C低温保存, 加 HCl 使 $pH < 2$	2×40 mL (水) 150 g (土壤)	14 天 (水和土壤)；无酸保护则为 7 天
总石油烃(TPH)-可萃取	G, 用琥珀密封瓶盖	4 °C低温保存	1 L (水) 250 g (土壤)	萃取前 7 天, 萃取后 40 天 (水)；萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
可挥发性芳香卤代烃	G, 用聚四氟乙烯薄膜密封瓶盖	4 °C低温保存, 加 HCl 使 $pH < 2$ , 0.008% $Na_2S_2O_3$	2×40 mL (水) 150 g (土壤)	14 天 (水和土壤)；无酸保护则为 7 天
亚硝胺	G, 用聚四氟乙烯密封瓶盖	4 °C低温保存	1 L (水) 250 g (土壤)	萃取前 7 天, 萃取后 40 天 (水)；萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
除草剂	G, 用聚四氟乙烯密封瓶盖	4 °C低温保存	1 L (水) 250 g (土壤)	萃取前 7 天, 萃取后 40 天 (水)；萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
有机氯杀虫剂	G, 用聚四氟乙烯密封瓶盖	4 °C低温保存	1 L (水) 250 g (土壤)	萃取前 7 天, 萃取后 40 天 (水)；萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
PCBs	G, 用聚四氟乙烯密封瓶盖	4 °C低温保存	1 L (水) 250 g (土壤)	萃取前 7 天, 萃取后 40 天 (水)；萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
有机磷杀虫剂/化合物	G, 用聚四氟乙烯密封瓶盖	4 °C低温保存	1 L (水) 250 g (土壤)	萃取前 7 天, 萃取后 40 天 (水)；萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
半挥发性有机物	G, 用聚四氟乙烯密封瓶盖	4 °C低温保存, 0.008% $Na_2S_2O_3$	1 L (水) 250 g (土壤)	萃取前 7 天, 萃取后 40 天 (水)；萃取前 14 天, 萃取后 40 天 (土壤)
挥发性有机物	G, 用聚四氟乙烯薄膜密封瓶盖	4 °C低温保存, 0.008% $Na_2S_2O_3$ (对挥发性芳香烃加 HCl, 使 $pH < 2$ )。	2×40 mL (水) 150 g (土壤)	14 天 (水和土壤)；无酸保护则为 7 天
注 1: 容器 P 为聚乙烯; G 为玻璃; T 为聚乙烯复合气泡垫。				
注 2: 只要当出现余氯时才需要保存 0.008 % 的 $Na_2S_2O_3$ 。				

7.2.3.4.3 地下水样品、地表水样品的分析测试和质量监控应按照 HJ/T 164-2004、HJ/T 91-2002 中的指定方法进行。

## 7.2.4 资料整理与污染识别

7.2.4.1 对样品测试结果进行系统整理，计算最大值、最小值、平均值等参数。

7.2.4.2 采样点位较多的评价场地，可绘制测试指标的地球化学图，并将污染物的地球化学空间分布规律与工厂污染物实际生产、储存、运输等情况进行对比，研究污染物在大气、土壤和水体中的迁移转化特征。

7.2.4.3 参照 GB 15618、GB 3838 和 GB/T 14848 等项标准对污染场地进行初步污染识别，国内没有标准的可参照国际上常用的筛选值（附录 F），当测试结果低于筛选值时，表明场地未受到污染或健康风险较低；高于筛选值时，表明场地受到污染，存在潜在人体健康风险，需进一步进行风险评价。

## 7.3 风险评价

### 7.3.1 土壤样品布设

7.3.1.1 在土壤测试指标含量高于相应的环境标准或筛选值的区域，加密布设土壤样品采集点位。

7.3.1.2 根据污染物空间分布特征，可采用分区布设法，即将场地划分成不同的小区，根据小区面积或污染物特征确定布点的方法；也可采用网格布设法，即在进一步评价区域网格化均匀布设样品点位。

7.3.1.3 样品数量以能确定主要污染源及其向环境释放方式和迁移途径为准，原则上，每个样品代表的面积不应超过 1 600 m<sup>2</sup>，对于面积较小的场地，应不少于 5 个采样点。

7.3.1.4 深层土壤采样点的布置应根据污染识别阶段采样所揭示的污染物垂直分布规律来确定，采样深度应至污染识别阶段采样确定的最大深度。任何情况下，深层土壤采样点数量不少于该区域采样点总数的 10%。

7.3.1.5 样品数量与布设方法应能满足确定污染范围的要求，必要时，可开展场地大气、场地人群和动植物调查，以进行更深层次的风险评估。

### 7.3.2 水样布设

7.3.2.1 在水体的测试指标含量高出于地下水、地表水环境标准或筛选值的区域，加密布设地下水和地表水采样点位。

7.3.2.2 地下水采样点位应沿地下水流向布设，可在地下水流向上游、地下水可能污染较严重区域和地下水流向下游分别布设。确定地下水污染程度和污染范围时，应参照土壤样品点位，根据实际情况确定，并在污染较重区域加密布点。

7.3.2.3 考察污染场地的地表径流对地表水的影响时，可分别在降雨期和非降雨期进行采样。如需反映场地污染源对地表水的影响，可根据地表水流量分别在枯水期、丰水期和平水期进行采样。

### 7.3.3 其他样品布设

7.3.3.1 如需确定场地空气污染水平，可根据实际情况进行大气样品点和大气干湿沉降物布设：

- a) 在场地疑似污染区域中心、场地上风向、当时下风场地边界及边界外 500 m 内的主要环境敏感点分别布设样点，大气样品点距地面 1.5 ~ 2.0 m；大气干湿沉降物布设需在距离地面 10 ~ 15 m 高处的平房屋顶上或放置在稳固的支架上。
- b) 对于存在有机物污染、Hg 污染等类型的场地，尤其是挥发性有机污染场地，如需要可选择污染最重的地块中心部位，剥离地表 0.2 m 的表层土壤后进行环境空气采样。

7.3.3.2 土壤和水体污染物超标较严重，且有农作物、水产品生产的污染场地，应布设动植物样品：

- a) 农作物样品布设时考虑的因素如下：
  - 1) 土壤中污染物含量及土壤 pH、质地、TOC 等理化性质；
  - 2) 农作物或水产品品种类型；

- 3) 每种农作物或水产品数量不少于 15 件。
- b) 石油化工业、炼焦及核燃料加工业（核燃料除外）、化学原料及化学制品制造业、医药制造业、金属冶炼等企业，以及建厂 5 ~ 10 年以上，且有严重的污染事故发生的企业，必要时，可对周围常住居民进行人群健康状况调查，采集代表性人体的发样、尿样、血样等样品，每类样品不得少于 30 件。

#### 7.3.4 样品采集和样品测试

##### 7.3.4.1 土壤和水样

7.3.4.1.1 大气干湿沉降物采集方法同 6.2.2.7；土壤、水样采集测试方法与质量监控等同 7.2.3.1、7.2.3.2。

7.3.4.1.2 采用便携式仪器设备对挥发性有机物进行定性分析，可将污染土壤置于密闭容器中，稳定一定时间后测试容器中顶部的气体。

7.3.4.1.3 土壤和水样测试指标需根据污染识别阶段的污染物超标种类确定，原则上污染物测试指标需根据实际情况适当减少。

7.3.4.1.4 土壤样品和水样品的测试方法与质量监控同 7.2.3。

##### 7.3.4.2 农作物样品

7.3.4.2.1 农作物样品采集方法同 6.2.2.4。

7.3.4.2.2 农作物样品测试指标需根据污染识别阶段的污染物超标种类、我国食品卫生标准中规定的指标种类自行确定，或参照 6.2.3.3。

7.3.4.2.3 农作物样品测试质量监控同 6.2.3.5。

##### 7.3.4.3 水产品

7.3.4.3.1 采集种类为产量大、居民购买量大的水产品。

7.3.4.3.2 大鱼（250 g 以上）取 3 ~ 5 条，小鱼取 10 ~ 30 条，洗净后沥去水分，去鳞、鳍、内脏、皮、骨等非可食部分，取一侧或全部可食部分，约 500 g。每条鱼在颈后和肛门后，以及二者之间中心部位各切取一窄段鱼体，混合后成为一个样品。如果只取某一部分，则分取该部分，混合成一个样品。小的鲜鱼按种类、大小分类，尽快冷藏。如只分析某一部分，则将分离的部分冷藏。分析时在捣碎器内捣成均匀浆质，然后进行分析。测定有机污染物的样品用有机溶剂萃取，测定金属元素的样品需要进行灰化。

7.3.4.3.3 贝类或甲壳类样品，洗净沥干后，取可食部分约 100 ~ 200 g，贝类应将壳内汁液共同取出混入食用部分。可在速冻后连同冰一起挖出，捣碎，保存于冰箱中或立即分析检测。

7.3.4.3.4 海藻类样品，选取数条海带，冲洗清洁后，沿中央肋剪开，各取其半，剪碎混匀，按四分法取样 100 ~ 200 g，贮存于冰箱中或立即分析检测。

7.3.4.3.5 水产品测试指标为 As、Cd、Hg、Pb、F、Cr、Se、Sn、Cu、Zn 等指标。

7.3.4.3.6 国标中规定的指标测试方法，应首选国标规定的方法，采用其他分析方法也应达到国标规定的质量控制要求。

7.3.4.3.7 根据评价工作需要，可在水产品同点位，采集水体样品、悬浮物样品和底泥样品，各类样品采集方法要求如下：

- a) 水体样品采集时，现场测试溶解氧、水温、pH、电导率、色度、浊度等参数。不同分析指标添加的保护剂类型同 6.2.2.2.2；

- b) 悬浮物样品采样点应选择在河流开阔、水流平稳处。用于微量元素含量分析和输送通量计算的滤膜需定量恒重，准确记录每张滤膜过滤水的体积；用于矿物学研究和同位素定年的滤膜不需定量恒重。悬浮物样量需满足分析测试要求；
- c) 底泥采样点应选择在水流平缓、冲刷作用较弱的地方，采样点按两岸、近岸与中心布设。用挖式、锥式、抓式沉积物采样器，亦可选用削有斜面的竹杆采样。采样量为 0.5 ~ 1.0 kg（湿重），测试项目多时，样量应酌情增加；底泥样品贮存于聚乙烯或玻璃容器中，测试重金属样品可在 -20 ~ -40 °C 冷冻保存 6 个月（Hg 为 30 天）；测试颗粒度的样品在分析前严禁冷冻和烘干处理。测试其他指标的样品处理方法同 6.2.2.1.5；
- d) 悬浮物和底泥测试指标选择与质量监控同 7.2.3。

#### 7.3.4.4 人发、尿样和血样

7.3.4.4.1 取人体血液样品前，应先准备洁净的硬质塑料带盖小试管，取样时将所取准确体积的样品注入试管，并用聚乙烯塑料薄膜包裹管口，冷冻保存，一般不用抗凝剂，如有必要可用柠檬酸钠抗凝（6 mg 柠檬酸钠可抗凝 1 mL 血液）。

7.3.4.4.2 取人体尿样前应先准备好用去离子水处理后的干净塑料小杯，取早晨第一次尿液的中段尿适量（通常 5 ~ 10 mL），及时送实验室检测。

7.3.4.4.3 人发样品一般以 1 ~ 2 g 为宜，要求取枕部近头皮的头发。头发样品应先经 1% 的洗洁精浸泡 12 h，再用一般蒸馏水冲洗干净，最后用去离子水清洗 3 次，于 60 °C 烘干备用。

7.3.4.4.4 人发、尿样、血样等测试指标需根据污染物超标种类和相应的生化指标自行确定。样品分析方法首选国家标准和行业标准中规定的方法，选用其他分析方法，其分析质量参数必须达到国标或行标分析方法要求。生物样分析方法与质量监控参见附录 B。

#### 7.3.4.5 大气样品

7.3.4.5.1 对于 7.3.3.1 中 b) 的环境空气样品采集，可根据分析仪器的检出限，设置具有一定体积并装有抽气孔的封闭仓（采样时，扣置在已剥离表层土壤的场地地面，四周用土封闭以保持封闭仓的密闭性），封闭 12 h 后进行气体样品采集。

7.3.4.5.2 环境空气样品的采集、保存与流转应按照 HJ/T 194-2005 的要求执行。

7.3.4.5.3 环境空气样品测试方法与质量监控应按照 GB 3095-2012 的要求执行。

#### 7.3.5 风险计算

##### 7.3.5.1 暴露点浓度计算

当场地污染的空间分布相对均匀或分析数据呈正态分布时，可将整个场地作为暴露点，其暴露点浓度可采用污染介质所有采样点浓度的 95% 置信水平上限值作为暴露点浓度进行计算；当场地为局部污染时，可采用局部区域的采样点浓度的 95% 置信水平上限值，或最大值作为暴露点浓度。

##### 7.3.5.2 摄入量计算

7.3.5.2.1 因不慎直接摄入土壤，其摄入的污染物质按式 (21) 计算：

$$EDI_{\text{直接摄入}} = \frac{CS \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \dots \dots \dots (21)$$

式中：

$EDI_{\text{直接摄入}}$ ——直接摄入土壤中污染物质，单位为毫克每千克每天（mg/kg·d）；

- CS——土壤中化学物质浓度，单位为毫克每千克（mg/kg）；
- IR——土壤摄入量，单位为毫克每天（mg/d）；
- EF——暴露频率，单位为天每年（d/a）；
- ED——暴露年限，单位为年（a）；
- BW——体重，单位为千克（kg）；
- AT——平均作用时间（对致癌物质是指整个生命周期，对非致癌物质是指暴露周期），单位为天（d）。

7.3.5.2.2 通过皮肤直接接触土壤，因皮肤吸收而摄入的污染物质按式(22)计算：

$$EDI_{\text{皮肤接触摄入}} = \frac{CS \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (22)$$

式中：

- $EDI_{\text{皮肤接触摄入}}$ ——皮肤接触摄入土壤中污染物质量，单位为毫克每千克每天（mg/kg·d）；
- CS——土壤中化学物质浓度，单位为毫克每千克（mg/kg）；
- SA——可能接触土壤的皮肤面积，单位为平方厘米每天（cm<sup>2</sup>/d）；
- AF——土壤对皮肤的吸附系数，单位为毫克每平方厘米（mg/cm<sup>2</sup>）；
- ABS——皮肤吸收率，%；
- 其他符号同上。

7.3.5.2.3 通过呼吸吸入土壤尘而摄入污染物质按式(23)计算：

$$EDI_{\text{土壤尘吸入}} = \frac{CS \times 1/PEF \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (23)$$

式中：

- $EDI_{\text{土壤尘吸入}}$ ——呼吸吸入土壤尘中污染物质量，单位为毫克每千克每天（mg/kg·d）；
- CS——土壤中化学物质浓度，单位为毫克每千克（mg/kg）；
- IR——空气摄入量，单位为立方米每天（m<sup>3</sup>/d）；
- PEF——土壤尘产生因子，单位为立方米每千克（m<sup>3</sup>/kg）；
- 其他符号同上。

7.3.5.2.4 通过呼吸土壤或地下水中的挥发性污染物而摄入的污染物质按式(24)计算：

$$EDI_{\text{挥发性物质吸入}} = \frac{CA \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (24)$$

式中：

- $EDI_{\text{挥发性物质吸入}}$ ——吸入挥发性污染物质量，单位为毫克每千克每天（mg/kg·d）；
- CA——空气中挥发性污染物浓度（由7.3.5.3扩散模型计算获得），单位为毫克每立方米（mg/m<sup>3</sup>）；
- IR——空气摄入量，单位为立方米每天（m<sup>3</sup>/d）；
- 其他符号同上。

土壤中污染物质挥发造成的空气中污染物质浓度可按式(25)计算：

$$CA = CS \times VF_s \times 1000 \dots\dots\dots (25)$$

式中：

- CA——空气中污染物质浓度，单位为毫克每立方米（mg/m<sup>3</sup>）；
- CS——土壤中污染物质浓度，单位为毫克每千克（mg/kg）；

$VF_s$ ——土壤污染物质至空气中的挥发性因子(不同情境下的 $VF_s$ 计算方法参见附录G),单位为g(土壤)/ $\text{cm}^3$ (空气);

地下水中污染物质的挥发造成的空气中污染物质浓度按式(26)计算:

$$CA = CW \times VF_{gw} \times 1000 \dots\dots\dots (26)$$

式中:

$CA$ ——空气中污染物浓度,单位为毫克每立方米( $\text{mg}/\text{m}^3$ );

$CW$ ——地下水中污染物质浓度,单位为毫克每升( $\text{mg}/\text{L}$ );

$VF_{gw}$ ——地下水中污染物质至空气中的挥发性因子(不同情境下的 $VF_{gw}$ 计算方法参见附录G),单位为 $\text{cm}^3$ (水)/ $\text{cm}^3$ (空气)。

7.3.5.2.5 通过饮用污染的地下水而摄入污染物质按式(27)计算:

$$EDI_{\text{饮水摄入}} = \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (27)$$

式中:

$EDI_{\text{饮水摄入}}$ ——饮水摄入污染物质量,单位为毫克每千克每天( $\text{mg}/\text{kg}\cdot\text{d}$ );

$CW$ ——饮水中污染物浓度,单位为毫克每升( $\text{mg}/\text{L}$ );

$IR$ ——饮用水摄入量,单位为升每天( $\text{L}/\text{d}$ );

其他符号同上。

7.3.5.2.6 某种污染物的不同途径的总摄入量按式(28)计算:

$$EDI_i = EDI_{\text{直接摄入}} + EDI_{\text{皮肤接触摄入}} + EDI_{\text{土壤尘吸入}} + EDI_{\text{挥发性物质吸入}} + EDI_{\text{饮水摄入}} \dots\dots\dots (28)$$

式中:

$i$ ——某种污染物。

### 7.3.5.3 迁移转化模型

7.3.5.3.1 污染源和暴露点不在同一位置时,应采用相关扩散模型确定暴露点介质污染物的浓度。

7.3.5.3.2 污染场地产生的挥发性污染物在周围大气环境中的扩散推荐采用 HJ 2.2-2008 中的相关模式。

7.3.5.3.3 污染物在地下水的迁移扩散模型可采用相关地下水扩散模型。

### 7.3.5.4 风险水平计算模型

风险分析一般包括致癌和非致癌两种不同的健康影响风险。

7.3.5.4.1 致癌风险水平是通过平均到整个生命期的平均每天摄入量乘以经口、经皮肤或呼吸道吸入致癌风险斜率系数计算得出。即:

$$R_i = EDI_i \times SF \dots\dots\dots (29)$$

式中:

$R_i$ ——某种污染物  $i$  不同摄入途径的致癌风险水平;

$EDI_i$ ——某种污染物  $i$  平均每天不同途径的污染物摄入量,单位为毫克每千克每天( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ );

$SF$ ——各类途径的致癌风险斜率系数(参见附录G中的表G.1), ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ) $^{-1}$ ;

对于因呼吸吸入挥发性污染物质引起的致癌风险也可用单位致癌风险因子计算,计算方法如下:

$$R_i = EDI_i \times \frac{BW}{IR} \times URF \times 1000 \dots\dots\dots (30)$$

式中：

*BW*——体重，单位为千克（kg）；

*IR*——空气摄入量，单位为立方米每天（m<sup>3</sup>/d）；

*URF*——物质吸入的单位致癌风险因子（参见附录 G 中的表 G.1），（μg/m<sup>3</sup>）<sup>-1</sup>；

每种污染物的总致癌风险等于各种途径致癌风险水平的总和。

7.3.5.4.2 非致癌危害熵（非致癌风险水平）可通过平均到整个暴露作用期的每天摄入量除以每一途径的慢性参考剂量来计算。即：

$$HQ_i = \frac{EDI_i}{RfD} \dots\dots\dots (31)$$

式中：

*HQ<sub>i</sub>*——某种污染物 *i* 不同摄入途径的非致癌危害熵；

*EDI<sub>i</sub>*——平均每天不同途径污染物 *i* 的摄入量，单位为毫克每千克每天（mg·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>）；

*RfD*——各类途径的慢性“毒性”参考剂量（参见附录F中的表F.1），单位为毫克每千克每天（mg·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>）；

对于因呼吸吸入挥发性污染物质引起的非致癌危害熵也可以用呼吸参考浓度计算，计算方法如下：

$$HQ_i = EDI_i \times \frac{BW}{IR \times RfC} \dots\dots\dots (32)$$

式中：

*RfC*——物质吸入的非致癌参考浓度（参见附录 G 中的表 G.1），单位为毫克每立方米（mg/m<sup>3</sup>）；其他符号同上。

每种污染物总的非致癌危害熵等于通过各种途径非致癌危害熵的总和。

### 7.3.6 风险计算相关参数的确定

#### 7.3.6.1 场地特征参数

场地特征参数包括计算污染物在地下水、土壤和大气间迁移引发健康风险时需要的土壤、地下水和大气等的物理参数，这些参数可通过现场样品采集与样品分析获得。

#### 7.3.6.2 暴露参数

暴露参数包括暴露频率、暴露时间、土壤和地下水的摄入量 and 人体的相关参数。人体相关参数如体重、寿命、空气呼吸率和日饮水量等主要依据国内的相关统计数据确定。土壤经口摄入量、暴露频率和暴露时间等相关参数在美国EPA推荐值基础上结合国内实际修正得到，参见附录G中表G.2和表G.3。

#### 7.3.6.3 毒性参数

毒性参数包括计算非致癌风险的慢性参考剂量（非挥发性有机污染物）和参考浓度（挥发性有机污染物）；计算致癌风险的致癌斜率（非挥发性有机污染物）和致癌风险参考浓度，常见污染物的毒性参数详见附件F中表F.1。

### 7.3.7 风险可接受水平

污染物的非致癌危害熵取1。

单个污染物的致癌风险可接受水平( $R_i$ )采用 $10^{-6}$ ，单个污染物的致癌风险按式(33)计算：

$$R_i = R_{i\text{直接摄入}} + R_{i\text{皮肤接触摄入}} + R_{i\text{土壤尘吸入}} + R_{i\text{挥发性物质吸入}} + R_{i\text{饮水摄入}} \dots\dots\dots (33)$$

式中：

$i$ ——每种污染物。

所有污染物的累积致癌风险可接受水平采用 $10^{-4}$ 来确定污染的风险或修复目标。累积致癌风险按下式计算：

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \dots\dots\dots (34)$$

### 7.3.8 污染物修复目标值确定

#### 7.3.8.1 污染物单个暴露途径修复目标值

7.3.8.1.1 分别根据每个污染物单个暴露途径的致癌风险和非致癌危害熵计算修复目标值：

a) 计算经口摄入途径土壤中污染物致癌风险的修复目标值采用下式计算：

$$RBSL_{ingest} = \frac{CS \times TR}{R_{ingest}} \dots\dots\dots (35)$$

式中：

$RBSL_{ingest}$ ——基于经口摄入途径致癌风险的土壤中污染物修复目标值，单位mg/kg；

$CS$ ——污染物浓度，单位mg/kg；

$TR$ ——致癌风险可接受水平；

$R_{ingest}$ ——经口摄入途径污染物致癌风险。

b) 计算经口摄入途径土壤中污染物非致癌危害熵的修复目标值采用下式计算：

$$HBSL_{ingest} = \frac{CS \times THQ}{HQ_{ingest}} \dots\dots\dots (36)$$

式中：

$CS$ ——污染物浓度，单位 mg/kg；

$HBSL_{ingest}$ ——基于经口摄入途径非致癌危害熵的土壤中污染物修复目标值，单位 mg/kg；

$THQ$ ——非致癌危害熵可接受水平；

$HQ_{ingest}$ ——经口摄入途径污染物非致癌危害熵。

c) 其他途径的污染物修复目标值计算同上。

7.3.8.1.2 比较基于致癌风险和非致癌危害熵计算得出的修复目标值，选择较小值作为场地污染物修复目标值。

#### 7.3.8.2 污染物所有暴露途径修复目标值

7.3.8.2.1 计算单一污染物所有途径致癌风险的污染物修复目标值，采用下式计算：

$$RBSL_n = \frac{CS \times TR}{R_{sum}} \dots\dots\dots (37)$$

式中:

$RBSL_n$ ——所有途径致癌风险的污染物修复目标值, 单位 mg/kg;

$R_{sum}$ ——所有途径污染物致癌风险。

7.3.8.2.2 计算单一污染物所有途径非致癌危害熵的污染物修复目标值, 采用下式计算:

$$HBSL_n = \frac{CS \times THQ}{HQ_{sum}} \dots\dots\dots (38)$$

式中:

$HBSL_n$ ——所有途径非致癌危害熵的污染物修复目标值, 单位 mg/kg;

$HQ_{sum}$ ——所有途径污染物非致癌危害熵。

7.3.8.3 比较基于致癌风险和非致癌危害熵计算得到的修复目标值, 选择较小值作为场地污染物修复目标值。

### 7.4 资料整理与措施建议

7.4.1 统计土壤、水体、动植物等样品中污染物最大值、最小值、平均值等地球化学参数; 制作土壤中污染物地球化学图, 土壤垂向剖面污染物变化趋势图等图件。

7.4.2 确定场地主要污染物类型、成因来源, 结合污染物及环境介质性质, 分析污染物在环境介质中的迁移和转化途径。

7.4.3 结合污染场地污染物的致癌风险和非致癌危害熵评价结果, 确定农作物、水产品的污染程度及其对人群健康的影响程度。

7.4.4 根据污染场地未来用地规划, 分析和确定未来人群接触污染物的暴露点、暴露方式、暴露途径及其生态风险。

7.4.5 根据风险评价结果, 对于低风险场地, 提出土地利用方式规划建议; 对高风险场地, 提出场地治理修复建议。修复目标的确定原则如下:

7.4.5.1 污染物的场地修复目标是以风险可接受水平作为风险评价基准, 按照风险计算的暴露情景反推得到。对于多种污染物和多种暴露途径的场地, 在计算修复目标值时, 需要进行权重分配, 使其累积风险不超过可接受水平。

7.4.5.2 在确定修复目标时, 还应参考该污染物的检出限、评价区的土壤和地下水的背景值、当地的法律法规和修复技术的可行性。模型计算的修复目标不应低于当地的背景值。否则应根据背景值进行调整。

7.4.5.3 当模型计算的修复目标高于当地的法律法规的规定要求时, 修复目标应满足当地的法律法规的要求, 并考虑经济和技术可行性。

7.4.5.4 将土壤中污染物地球化学图、土壤垂向污染物变化趋势图、地下水污染物空间分布及扩散方向与场地修复目标相对照, 圈定出土壤修复范围与深度。

## 8 名特优农产品与富硒农产品产地生态地球化学评价

### 8.1 名特优农产品

#### 8.1.1 资料收集与分析

8.1.1.1 收集评价区名特优农产品种类、种植区域、经济效益、种植规划等资料。

8.1.1.2 收集评价区自然地理、地形地貌、气候条件、植被分布等资料，以及名特优农产品种植区的地质背景、地球化学特征、成土母质与土壤类型、土壤障碍因子等。

8.1.1.3 收集评价区农作物种植结构、土地利用现状、作物类型与布局、农药与化肥种类及主要农业生产问题等。

8.1.1.4 系统分析整理已收集的资料，按照粮食、蔬菜、果品、茶叶、道地中药材等类型划分名特优农产品种类，根据评价区社会经济发展需要、名特优农产品经济价值及其种植规划，选择名特优农产品种植典型地区 and 对照区开展生态地球化学评价。

## 8.1.2 样点布设

### 8.1.2.1 土壤样品

8.1.2.1.1 充分考虑农产品品种、气候条件、地形地貌、农事管理，以及表层土壤理化性质（质地、酸碱度等）、化学成分（养分元素、健康元素与重金属元素）等多种因素，在名特优农产品种植区和对照区，考虑地质背景、成土母质与土壤类型等因素，划分采样单元，每个单元布设的土壤样品数量大于30件，对照区土壤采集数量可适当减少。

8.1.2.1.2 在每个采样单元内，可按照网格化布点原则，采集代表性样品；也可根据名特优农产品长势、土壤理化性质变化，采集代表性样品。

8.1.2.1.3 覆盖面积大于80%的主要成土母质布设3条或以上土壤垂向剖面，其他成土母质按分布面积大小酌情布设1~2条土壤垂向剖面。

### 8.1.2.2 农作物样品

8.1.2.2.1 在表层土壤样品对应点位上，布设名特优农产品采集样点，每种农产品数量大于30件。

8.1.2.2.2 根据评价区农业种植制度，需布设每个季度的农产品采集点位。

## 8.1.3 样品采集与加工

### 8.1.3.1 土壤样品

#### 8.1.3.1.1 采样时间

8.1.3.1.1.1 表层土壤样品一般要求与名特优农作物样品同时采集，且必须在下茬作物尚未施用底肥以前完成。土壤样品采集时应避开雨季，以防速效氮的淋洗。一个区域的土壤养分有效态分析样品采集，应在1~2周之内完成。

8.1.3.1.1.2 土壤垂向剖面样品采集时间不做统一规定，但布设在耕地中的土壤垂向剖面样品采集时间应尽量在农闲期。

#### 8.1.3.2 采样深度

8.1.3.2.1.1 名特优农产品为粮食、蔬菜、茶叶、道地中药材等评价区，土壤样品采集深度根据作物根系分布深度确定，一般为0~20 cm。

8.1.3.2.1.2 名特优农产品为果品的评价区，土壤样品采集深度为0~60 cm。

8.1.3.2.1.3 土壤垂向剖面样品采集深度按照以下规定执行：

- a) 山地、丘陵地区，土壤剖面深度以见到成土母质为准。土壤剖面较深时，剖面深度为2 m；
- b) 冲洪积地区，土壤剖面以见到地下水为准。地下水水面较深时，土壤剖面深度为2 m；

- c) 每条土壤剖面，可按土壤发生层采集，每层土体采集 1~2 件土壤样品，当发生层土体较厚时，采集 3~4 件土壤样品；当土壤发生层识别困难时，可按照平均密度为 1 个样/20 cm 采样，土壤剖面上部，采样密度可加密，土壤剖面下部，采样密度可适当放稀。

#### 8.1.3.2.2 采样工具

8.1.3.2.2.1 用于土壤重金属和微量元素分析的样品，可使用竹铲、竹片直接采取样品。必须用铁锹挖采样坑时（如土壤剖面），先挖好坑后，用竹片去除与金属采样器接触的土壤，再采集样品。

8.1.3.2.2.2 每个样品采集完后，应清除干净采样工具上的泥土，再用于下个样品采集。

#### 8.1.3.2.3 样品采集

8.1.3.2.3.1 在采样点位上，以 GPS 定位点为中心，向四周辐射确定 4~6 个子样点，等份组合成一个混合样。

8.1.3.2.3.2 每个子样点的采样部位、深度及重量要求一致。采集蔬菜地土壤混合样品时，一个混合土壤样应在同一具有代表性的蔬菜地或设施类型里采集。

8.1.3.2.3.3 采样时应避开沟渠、林带、田埂、路边、旧房基、粪堆及微地形高低不平无代表性地段。

8.1.3.2.3.4 土壤样品编号、定点与标绘、采样记录、重复样采集和质量监控等各项内容要求同 DZ/T 0258-2014。

8.1.3.2.3.5 采集的各子样点土壤掰碎，挑出根系、秸秆、石块、虫体等杂物，充分混合后，四分法留取 1.0~1.5 kg 装入样品袋。样品袋一般为干净结实的棉布袋，如潮湿样品可内衬塑料袋（供无机元素和化合物测定）或将样品置于玻璃瓶内（供有机化合物测定）。

8.1.3.2.3.6 用于微量元素和重金属含量测试的土壤样品在采样、储藏、运输、前处理等过程中严防污染。

#### 8.1.3.2.4 样品处理

8.1.3.2.4.1 依据样品分析测试指标种类，土壤样品可分为新鲜样品和风干样品两种。测定土壤中  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Cr}^{6+}$ 、还原态锰、硝态氮、铵态氮和有机污染物的样品需用新鲜样品，其他测试指标用风干样品。

8.1.3.2.4.2 新鲜样品采集后直接用玻璃瓶或塑料袋密封后送实验室进行处理分析；如样品采集后不能及时送实验室，需要暂时储存时，可将新鲜样品装入塑料袋，扎紧袋口，放在冰箱冷藏室或进行速冻保存。新鲜样品保存条件见表 13。

8.1.3.2.4.3 风干样品的过筛孔径同 6.2.2.1.5 中的 d) 要求。

#### 8.1.3.3 名特优农产品

##### 8.1.3.3.1 样品采集

8.1.3.3.1.1 于名特优农产品收获盛期采集农产品，采集方法同 6.2.2.4.2~6.2.2.4.5 和 6.2.2.4.7。

8.1.3.3.1.2 农作物样品编号可采用“评价区代码+样品属性码+顺序号”等方式进行样品编号。样品的定点与标绘、采样记录、重复样采集和质量监控等各项内容要求同 DZ/T 0258-2014。

##### 8.1.3.3.2 样品加工、样品测试与质量要求

8.1.3.3.2.1 农作物样品加工场地、加工用具、干样与湿样加工、样品缩分、送测部位等各项要求同 6.2.2.4.8~6.2.2.4.11。

8.1.3.3.2.2 土壤和农作物分析测试指标选择范围见表 14。

- 8.1.3.3.2.3 不同评价区可根据地质背景、土壤类型、市场供给需求和国标、行标规定的名特优农产品品质种类，增减土壤和农作物测试的元素与指标类型。
- 8.1.3.3.2.4 典型土壤样品可增加养分元素有效态、重金属元素相态和有机污染物分析测试指标。
- 8.1.3.3.2.5 土壤垂向剖面样品可增加矿物学和铅同位素测试指标。
- 8.1.3.3.2.6 每种农作物样品测试数量需大于 30 件，按照 10% 比例进行外检。
- 8.1.3.3.2.7 农产品不同测试指标的分析方法需首选国家标准推荐的分析方法，如采用其他分析方法，其分析质量参数必须达到国标分析方法要求。元素有效态、相态与有机污染物等指标的分析方法与质量监控见附录 B。

表14 名特优农产品与土壤样品测试指标选择范围表

土壤				农作物	
全量	有效态	元素相态	其他指标	元素及有机污染物	品质
Si、Al、K、Na、Ca、Mg、Fe、Mn等。	碱解氮、速效磷、速效钾、有效铁、有效硼、有效锰、有效锌、有效铜、有效铝、有效硒、有效硫，以及水溶性氯、浸提性铁、浸提性铝、浸提性锰、浸提性硅等。	As、Cd、Cr、Hg、Pb、Ni、Cu、Zn、Co、V、Sb、Tl、Sn等元素水溶态、离子可交换态、碳酸盐结合态、铁锰氧化态、弱有机结合态、强有机结合态和残渣态。	有机质、酸碱度、阳离子交换量、质地、土壤含盐量，以及 <sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb、 <sup>207</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb、 <sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb等。	Pb、Cd、Hg、As、Cr、Se、I、F、Cu、Zn、Mo、K、Ca、Mg、Fe等元素，以及六六六、滴滴涕、苯并[a]芘等有机污染物。	氨基酸、可溶性糖、总糖、总酸、维生素C、膳食纤维、总黄酮、蛋白质、酸价、过氧化值等。
N、P、B、Mo、Zn、Cu、S、Cl、Se、I、F等。					
As、Cd、Cr、Hg、Pb、Ni、Cu、Zn、Co、V、Sb、Tl、Sn等。					
六六六、滴滴涕、多环芳烃、多氯联苯等。					

#### 8.1.4 资料整理与综合评价

- 8.1.4.1 对比研究名特优农产品与对照区农产品品质之间的差异，统计农产品品质和土壤中元素含量与理化性质之间的对应关系。
- 8.1.4.2 研究影响名特优农产品品质的地球化学因素及其控制条件，对比不同地质背景、成土母质、土壤元素地球化学特征差异。
- 8.1.4.3 参照食品卫生标准，对名特优农产品安全进行评价，研究影响农产品安全性的地球化学因素及其控制条件。
- 8.1.4.4 研究成土剖面中，影响营养与重金属元素富集贫化的成土母质、成土作用、矿物学、地球化学及其人为活动等控制因素。
- 8.1.4.5 建立名特优农产品适种性的地质地球化学模型，并提出生产规划建议。

#### 8.2 富硒农产品

##### 8.2.1 资料收集与工区部署

- 8.2.1.1 收集评价区多目标区域地球化学调查、土地质量地球化学评价等相关成果资料，分析土壤中As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、S、Se、Tl、Zn等元素含量和分布特征。
- 8.2.1.2 收集评价区自然地理、地质背景、地形地貌、气候条件、植被分布、人为污染源分布以及成土母质、土壤类型、土壤障碍因子等资料，分析土壤硒等元素分布特征及其控制因素。

8.2.1.3 收集评价区农作物种植结构与生产效益、土地利用现状、作物类型与布局规划、农药与化肥种类、主要农业生产问题等资料，了解当地是否有硒肥施用历史、已有富硒农产品种类、种植分布范围、经济效益等情况。

8.2.1.4 以土壤 Se 大于 0.4 mg/kg 为参照标准，结合土壤中有效硒含量、农产品富硒程度等信息，北方碱性土壤区可适当降低土壤 Se 含量值，南方酸性土壤区可适当提高土壤 Se 含量值，圈出土壤硒相对富集区。

8.2.1.5 考虑成土母质、土壤类型、地理地貌、气候条件与农业种植等因素，选择土壤硒相对富集区、已有富硒农产品分布区及相应的对照区作为评价区，部署富硒土地资源评价工作。初步识别富硒土壤成因：成土母质（母岩）富硒、成土过程硒次生富集、人为来源硒，作为富硒土地资源评价工作部署的重要依据。

8.2.1.6 在评价区内，根据评价工作需求确定评价工作的比例尺，评价比例尺范围原则为 1:10 000 ~ 1:2 000。如需要，可进行地块级评价工作。

8.2.1.7 可按照以下两种方式进行土壤和农作物样品布设：

- a) 网格化布设。按照评价比例尺规定的采样数量，在评价区内，空间上均匀部署样品。网格化布设样品时还需同时兼顾评价区内的主要土壤类型、土地利用现状与农作物种植种类等；
- b) 代表性区域集中布设。考虑评价区内地形地貌、成土母质（母岩）、土壤类型与土地利用、农作物种类与分布区域等情况，选择代表性、典型性地区 and 对照区集中部署样品。每种类型地区土壤样品数量大于 15 件。

8.2.1.8 按照以下方式进行土壤垂向剖面、河流悬浮物、河漫滩沉积柱、大气干湿沉降物、灌溉水等样品布设：

- a) 对于预判为成土母质（母岩）富硒、成土过程次生富集成因的富硒地区，应按地质背景和成土母质类型，布设岩土垂向剖面测量工作，重点研究成土母质中 Se 含量特征、赋存形式及在风化成土过程中硒元素迁移分配规律；
- b) 对于预判土壤 Se 来源于上游汇水区硫化物矿床、煤矿、炭质页岩、黑色岩系等富 Se 地质体风化与硫化物矿、煤矿等矿山开采引起的富硒地区，应布设流经汇水区的河流悬浮物、水体、水系沉积物与河漫滩沉积柱等测量工作，重点研究水系中 Se 等元素的迁移形式、影响因素、输送通量与迁移沉积历史等；
- c) 对于预判为人为污染成因的富硒地区，针对可能的硒输入途径，部署溯源评价工作，重点开展大气干湿沉降、污水灌溉、污泥农用、粉煤灰施用等硒输入通量研究。

## 8.2.2 采集加工与分析测试

### 8.2.2.1 耕作层土壤样品

8.2.2.1.1 每件土壤样品均为子样等份混合样，子样数量为 5 ~ 8 件，每件土壤样品的混合子样必须在同一地块内采集，根据地块形状，子样的分布可为梅花状、S 形或蛇形等。

8.2.2.1.2 土壤样品采集与加工处理同 8.1.3.1。

8.2.2.1.3 耕层土壤样品测定 Si、Al、Fe、Ca、Mg、K、Na、As、B、Cd、Cr、Cu、F、Hg、Mn、Mo、N、Ni、P、Pb、S、Se、Zn、Corg、pH 等全量指标，选测 N、P、K、Ca、Mg、S、Se、Fe、Mn、Cu、Mo、B、Zn、Si 有效态。分析方法和质量要求参见附录 B。

### 8.2.2.2 农作物样品

8.2.2.2.1 在耕作层土壤样品对应点位上，布设采集当季农产品样品采集点，整个评价区每种农产品数量大于 15 件。

8.2.2.2.2 根据评价区农业种植制度，需布设每个季度的农产品采集点位，即同一点位多次采集农作物。

8.2.2.2.3 作物样品测定 As、Cd、Cr、Cu、F、Hg、Pb、Se、Zn。根据评价区土壤地球化学特征，选测其它有机和无机指标。分析方法和质量要求参见附录 B。

8.2.2.2.4 农作物样品采集、加工场地、加工用具、干样与湿样加工、样品缩分、送测部位等各项要求同 6.2.2.4.2 ~ 6.2.2.4.11。

### 8.2.2.3 岩土垂向剖面样品

8.2.2.3.1 针对评价区主要的地形地貌、成土母质（母岩）、土壤类型，选择其主要分布区布设岩土垂向剖面，每种成土母质（母岩）需布设 1~3 条剖面。

8.2.2.3.2 风化层较薄时，岩土垂向剖面控制到基岩；冲洪积等运积物成土母质区、风化层深厚的残坡积区，土壤垂向剖面控制深度为 2 m 左右。潜水面较浅时，土壤剖面深度控制到潜水面。

8.2.2.3.3 岩土垂向剖面土壤层（包括风化残积层）样品，可按土壤发生层采集，每层采集 1~2 件土壤样品，当发生层土体较厚时，采集 3~4 件土壤样品；当土壤发生层识别困难时，可按 1 件/20 cm 采集样品。

8.2.2.3.4 在剖面底部采集风化岩石样。当风化层深厚时，可在剖面附近采集出露的基岩样。冲洪积等运积物成土母质区不采集岩石样。岩石样应尽可能采集风化程度较低的新鲜岩石，并多点捡块采集组合样。

8.2.2.3.5 采用开挖浅坑（山地丘陵区）或土钻采集岩土垂向剖面样品。

8.2.2.3.6 岩石样经粗碎—混匀—缩分—细碎—缩分—研磨至 200 目后送分析。

8.2.2.3.7 岩土垂向剖面的岩石、土壤样品，除了测定耕层土壤样元素含量指标外，增加测定 Zr、Ti 等高场强元素。岩石不测 pH、CEC 等指标。

8.2.2.3.8 剖面岩石、土壤元素含量分析方法及质量要求同耕层土壤样。

### 8.2.2.4 大气干湿沉降样品

8.2.2.4.1 对于无明显自然成因，即成土母质（母岩）硒含量不高，且次生富集作用不明显（南方次生富集成因富硒土壤多分布于山地丘陵，北方次生富集成因富硒土壤多为干旱蒸发型盐碱性土壤），没有污水灌溉、污泥施用、粉煤灰农用历史，大气污染较严重（邻近城市、工矿区）的富硒土壤区，应考虑布设大气干湿沉降调查。

8.2.2.4.2 每个评价区大气干湿沉降点不少于 5 个，在评价区内按空间分布总体均匀布设。

8.2.2.4.3 大气干湿沉降物的布设与注意事项同 6.2.2.7。

8.2.2.4.4 大气干湿沉降样品测试指标选择范围为：As、Cd、Co、Cr、Cu、F、Hg、Mn、Mo、Ni、Pb、Sb、Se、Sn、Tl、V、Zn、pH、TOC 等指标。

8.2.2.4.5 不同评价区，可根据干沉降与湿沉降接收量，以及实际需要自行增加或减少测试指标种类。

### 8.2.2.5 河流悬浮物与河漫滩沉积柱

#### 8.2.2.5.1 悬浮物、水体和水系沉积物样品

在流经评价区的主要河流地段、评价区河流的上游段及汇水盆地出口等地段布设悬浮物、水体和水系沉积物样品。样品具体点位布置原则为：

- a) 在河流流入、流出评价区附近，各布设 1~2 个点位；
- b) 在河流流经比较大的城镇、工厂的上下游各布设 1~2 个点位；
- c) 在较大支流或支流上游有矿山采选冶活动或支流汇水区有煤矿、硫化物矿、磷矿、黑色岩系等地质体出露时，需在支流汇入干流上、下河段各布设 1~2 个点位。

#### 8.2.2.5.2 沉积柱样品

在悬浮物、水体和水系沉积物相同点位上，选择代表性地区布设河漫滩沉积柱样点，布设原则为：

- a) 选择支流汇入干流前，河面较宽、流速较慢、河堤较平缓地带，通常年份的洪水能漫过部位，布置采样点；
- b) 确定具体采样位置前，应进行野外踏勘、实地观察与居民访问，以保证采样点及周围地区基本无人生产生活影响，且土壤剖面沉积层层理水平、清晰，无上、下层扰动和沉积缺失等。

8.2.2.5.3 悬浮物样品采集方法同 7.3.4.3.7 中 b)。水体采集与添加保护剂方法同 6.2.2.2.5。水系沉积物采集与处理方法同 DZ/T 0011。沉积柱样品的采集、处理参照 6.2.2.3 执行。

8.2.2.5.4 悬浮物、水系沉积物和河漫滩沉积柱样品分析 As、Ag、Ba、Be、Cd、Co、Cr、Cu、F、Hg、Mn、Mo、Ni、Pb、Sb、Se、Sn、Tl、V、Zn，河漫滩土壤样品加测 pH、TOC、<sup>137</sup>Cs、<sup>210</sup>Pb 和 OSL；

8.2.2.5.5 水样分析 As、Ag、Cd、Co、Cr、Cu、F、Hg、Mn、Mo、Ni、Pb、Sb、Se、Sn、Tl、V、Zn、pH 等指标。

8.2.2.5.6 不同评价区，可根据实际情况自行增加或减少测试指标种类。

#### 8.2.2.6 典型人为物源样品

8.2.2.6.1 存在污水灌溉、污泥农用、粉煤灰施肥、人为施用含硒物料（硒酸盐或亚硒酸盐）等的富硒土壤区，深入调查各种人为源污染物类型、来源、施用历史、范围和用量。同时，进行采样分析。

8.2.2.6.2 在污水排放口、主干渠、灌溉口采集水样。水体采集与添加保护剂方法同 6.2.2.2.5。

8.2.2.6.3 污泥、粉煤灰、化肥等可能的人为硒源样品，根据当地物料来源、种类的复杂程度确定采样件数，一般每种类型样品不少于 3 件，每件样品采样重量不少于 2 kg。样品加工处理、分析测试指标与方法、分析质量要求同土壤样品。

#### 8.2.3 资料整理与综合评价

8.2.3.1 按地质背景、成土母质（母岩）、土壤类型，分类统计土壤硒等元素含量，对比不同类型区土壤硒元素含量特征，分析土壤硒元素成因来源。

8.2.3.2 参照土壤环境质量标准、营养元素分级标准以及绿色、有机农产品产地环境质量和肥力要求等相关标准，划分土壤环境质量等级、土壤肥力等级，圈出适宜发展绿色农产品的土地质量区。

8.2.3.3 参照富硒农产品标准，评价富硒农作物的产出情况，统计各类农产品富硒率。计算不同农作物的硒富集系数  $f_{Se}$ ，富集系数的计算公式为： $f_{Se} = \text{农作物硒} / \text{土壤硒}$ 。对比不同农作物的硒富集系数，筛选出适合当地种植的富硒农作物种类。

8.2.3.4 参照 GB 2762-2005，评价农产品食用安全性，查明影响农产品安全性的主要地球化学指标及其控制条件。

8.2.3.5 以岩土垂向剖面调查数据为依据，计算土壤风化指数、元素富集系数，研究成土母质、成土作用过程、人为活动等对土壤剖面中硒及营养元素、重金属元素垂向分布、富集贫化的作用规律，进一步确认富硒土壤的自然成因。

8.2.3.6 分析土壤硒有效量、有效性（有效硒与全硒比值）、土壤—作物硒富集系数与土壤理化指标的关系，研究控制土壤硒有效性、作物硒吸收的地质背景和土壤环境控制因素，为富硒土壤改良调控、富硒土地资源有效利用服务。

8.2.3.7 根据灌溉水、大气干湿沉降物调查分析数据，计算农田土壤硒等元素输入通量。结合作物吸收带出通量，预测评价当前环境条件、农业生产下土壤硒变化趋势，进一步确认富硒土壤的人为成因，分析富硒土壤的持续可利用性。

8.2.3.8 根据污泥、粉煤灰等人工物料的施用总量及其硒等元素浓度，计算农田系统元素输入总量。依据耕作层厚度和土壤容重，预测人为物料输入引起的土壤硒浓度变化。结合作物吸收带出通量，预测土壤硒含量变化趋势，进一步确认富硒土壤的人为成因，评价硒外源输入的可持续利用性和重金属外源输入的生态风险。

8.2.3.9 根据土壤硒含量、有效量分布，综合考虑土壤环境质量、安全富硒农作物类型及分布情况，结合当地土地利用和农业种植布局，圈出绿色富硒土地资源，提出富硒农产物种植建议。

## 9 绿色食品产地生态地球化学评价

### 9.1 样点布设

#### 9.1.1 土壤样品

9.1.1.1 根据评价区绿色食品种植实际情况及生态地球化学调查评价结果，划分评价土壤单元。原则上，土壤的评价单元应为第二次全国土地调查图斑。

9.1.1.2 在评价区，当拟采集的土壤样品数量少于第二次全国土地调查图斑数量时，可在第二次土地调查基础上进行图斑合并；也可根据评价比例尺所确定的土壤样品数量，按照网格法进行土壤样点布设，用等值线插值法将评价数据赋值给每个评价单元。

9.1.1.3 评价区土壤样品采集数量多于第二次全国土地调查图斑数量时，可在第二次土地调查图斑基础上，叠加土壤类型、土地利用类型、土壤环境质量、土壤养分现状及其它理化指标，进行图斑分解。

9.1.1.4 评价区土壤样品采集数量与第二次全国土地调查图斑数量基本一致时，在每个图斑中布设样品采集点位，较大的图斑可布设 2 个以上样品采集点位，较小图斑可合并到临近的较大图斑中。

#### 9.1.2 肥料、农药、兽药、饲料添加剂

9.1.2.1 依据评价区肥料施用种类，采集复混（合）肥、有机肥料、有机-无机复混肥、微生物肥料、叶面肥、缓控释肥料等，所采集肥料种类应覆盖 80 % 以上的施用种类及用量，每种肥料采集数量大于 10 件。

9.1.2.2 依据评价区农药、兽药、饲料添加剂使用种类，采集覆盖当地使用种类和使用量 80 % 以上的农药、兽药及饲料添加剂，每种类型采集数量为 5 ~ 10 件。

#### 9.1.3 大气干湿沉降物、颗粒物与有害气体样品

9.1.3.1 收集评价区大气环境质量等资料，如能满足评价工作需要，可不布设大气样品。

9.1.3.2 在评价区，按照不同功能区或空间上均匀布设原则，设置大气干湿沉降物和大气总悬浮微粒（TSP）、PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、氟化物样品的采集点位，样品布设密度为 5 个点~ 10 个点/10 km<sup>2</sup>。

9.1.3.3 样品布设时，应避开繁华都市、工业区和交通要道，并充分考虑常年主导风向。

9.1.3.4 大气干湿沉降物布设与注意事项同 6.2.2.7。

#### 9.1.4 水样

9.1.4.1 收集评价区灌溉水和渔业用水环境质量资料，如能满足评价工作需要，可不布设水样样品。

9.1.4.2 根据评价区灌溉水类型，按照 5 ~ 10 个样/km<sup>2</sup>的密度布设灌溉水样品采集点。

9.1.4.3 水产养殖地区，大于 10 亩（一般池塘是 10 ~ 20 亩，最大不超过 30 亩）的池塘均需布设水样采集点位。

9.1.5 农作物、水产品、肉类与蛋奶

- 9.1.5.1 依据评价区农业种植结构，原则上采集耕种面积大于 80%的农作物可食部分，如南方水稻、小麦和油菜等，北方小麦、玉米、谷子等，每种农作物采集数量需大于 30 件。
- 9.1.5.2 评价区名特优农产品、蔬菜、经济作物、果品、道地中药材等样品可适当布设，每种农产品数量需大于 15 件。
- 9.1.5.3 水产养殖地区，需采集代表 80% 以上种类与产量的水产品。
- 9.1.5.4 凡畜禽养殖存栏数量大于等于表 15 中的数量时，至少采集一件畜禽可食部分样品。养殖规模为表 15 中所示数量 2 倍以上的养殖厂，需采集 2~3 件样品。

表15 畜禽样品采集的最低存栏数

畜禽种类	存栏数
生猪	100 头
肉禽	1000 只
蛋禽	500 只
奶牛	20 头
肉牛	10 头
肉羊	50 头
肉兔	100 只

- 9.1.5.5 农作物样品采集点位应尽量与土壤、灌溉水和大气样品点位一致。

9.2 样品采集

9.2.1 土壤与农作物

- 9.2.1.1 土壤样品采集同 8.1.3.1。
- 9.2.1.2 农作物样品采集同 8.1.3.2。

9.2.2 肥料、农药、兽药和饲料添加剂

- 9.2.2.1 与农作物、畜禽、水产品等样品相配套，采集肥料、农药、兽药和饲料添加剂等样品；
- 9.2.2.2 肥料、农药、兽药和饲料添加剂样品采集可分散到用户采集，也可到专门销售上述农用物质的商店购置，每种样品采集重量 500 ~ 250 g，应详细询问并记录肥料、农药、兽药和饲料添加剂的使用次数、使用量。
- 9.2.2.3 按照样品包装要求，装入干净的布袋、自封塑料袋或棕色玻璃瓶中。

9.2.3 水样

- 9.2.3.1 于农作物灌溉高峰期、水产品和畜禽养殖期采集水样，每瓶水装水 90 %，留出一定的空间。分析有机污染物的水样，样瓶必须装满。
- 9.2.3.2 水样采集要求瞬时采样。采集前用采样点待采水样洗涤样瓶和塞盖 2~3 次。根据测试指标不同，添加不同的保护剂。具体要求同 6.2.2.2.5。

9.2.4 大气样品

9.2.4.1 大气干湿沉降物

大气干湿沉降物接收与回收同6.2.2.7。

### 9.2.4.2 大气颗粒物和有害气体

9.2.4.2.1 大气总悬浮微粒（TSP）、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、氟化物等环境空气污染物样品的每次采集时间为连续 24 h，采集与储存要求同 HJ/T 194-2005。

9.2.4.2.2 依据评价工作需要，可按照季度、月度或在农作物生长期自行确定大气颗粒物与有害气体样品采集时间和采集次数。

### 9.2.5 水产品

9.2.5.1 在水产品捕捞旺季，于作业现场或鲜活水产品集贸市场购买水产品，并调查记录养殖水域、水产品养殖时用药和饲料等详细情况。

9.2.5.2 不同种类水产品采集数量与方法如下：

- a) 大于 15 cm 长的鲜鱼，按种类和大小进行分类。每条鱼在颈后和肛门后，以及二者之间中心部位各切取一窄段鱼体，混合后成为一个样品。如果只取某一部分，则分取该部分，混合成一个样品；
- b) 小的鲜鱼按种类、大小分类，尽快冷藏。如只分析某一部分，则将分离的部分冷藏；
- c) 贝类样品分类后，用纯净的自来水冲洗掉泥沙，去外壳。取闭壳肌和斧足，将其捣碎混匀，分取部分作样品；
- d) 蛋类、乳类样品也应采取混合样；
- e) 将所取样品在捣碎器内捣成均匀浆质，然后取部分样品以备分析测试。

### 9.2.6 蛋奶样品

9.2.6.1 选择至少 3 头奶牛，取刚挤出的原奶约 500 mL，混合后留取 500 mL，迅速冷藏并在 8 小时内送实验室。

9.2.6.2 选择代表性的禽类养殖场，随机采集新鲜的禽蛋 250 ~ 500 g，迅速冷藏并在 8 小时内送实验室。

### 9.2.7 动物肉、脏器样品

9.2.7.1 在畜禽屠宰场或集贸市场，采集畜禽脊、胸肌、背肌、内脏等不同部位，根据统一取样原则，取统一部位的肉样，搅碎混匀，按四分法分取样品。或在不同部位切取小块，混合为一个样品：

- a) 大个体的动物，以一头作为一个取样单位，在躯干的各部位切取肌肉片合成一个样品；
- b) 小个体的动物，以 3 ~ 5 头为一个取样单位，充分混合后组成一个样品；
- c) 动物脏器采集后，剔除大血管后，搅碎混匀，分取部分作为样品，或在不同位置切取小块，混合为一个样品。

9.2.7.2 样品重量约 500 ~ 1 000g，冷冻保存，并在 8 小时内送实验室。

### 9.3 样品处理

9.3.1 土壤与农作物样品处理方法分别同 8.1.3.1 和 8.1.3.2。

9.3.2 对于水分少，油脂少的干燥样品如粮食等，一般粉粹样品的仪器多采用研钵和粉粹机。样品粉粹至全部过 40 目（0.425 mm）尼龙筛。对于水分多，脂肪多的样品，如鱼、肉、虾、贝、蔬菜、水果等，多使用打浆机和组织捣碎机将样品加工为液体进行分析。

9.3.3 大气干湿沉降物处理方法同 6.2.2.7。

### 9.4 测试指标选择与分析质量监控

9.4.1 按照 NY/T 391-2000 规定的指标范围确定所需检测的指标种类, 详见表 16, 大气干湿沉降物测试指标为 As、Cd、Cr、Hg、Pb、Ni、Cu、Zn。

9.4.2 在农业部颁发的绿色食品卫生标准中规定的指标范围基础上, 根据评价区实际需要, 确定所需检测的指标种类, 测试指标范围见表 17。

9.4.3 按照 NY/T 394-2013、NY/T 393-2013、NY/T 471-2000 中规定的限量使用和禁止使用的有害物质种类, 根据评价工作实际需要, 自行确定肥料、农药、饲料和饲料添加剂所需测试的指标种类。

9.4.4 指标测试方法与质量监控需执行并满足 NY/T 391-2000 及相应的绿色食品标准中所规定的分析方法与质量监控要求。

表16 绿色食品产地大气、水和土壤检测指标

种类	指标
大气	总悬浮颗粒物(TSP)、二氧化硫(SO <sub>2</sub> )、氮氧化物(NO <sub>x</sub> )、氟化物
农田灌溉水	pH、Hg、Cd、As、Pb、Cr <sup>6+</sup> 、氟化物、粪大肠菌群
渔业用水	悬浮物、pH值、溶解氧、生化需氧量、总大肠菌群、Hg、Cd、Cu、As、Pb、Cr <sup>6+</sup> 、挥发酚、石油类
畜禽养殖用水	pH、氟化物、氰化物、As、Hg、Cd、Cr <sup>6+</sup> 、Pb、细菌总数、总大肠菌群
土壤环境	pH、Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu
土壤肥力	有机质、全氮、有效磷、有效钾、阳离子交换量、质地

表17 绿色食品检测指标范围

种类	指标
豆类	Cd、磷化物、氰化物、马拉硫磷、杀螟硫磷、黄曲霉毒素 B <sub>1</sub>
茶叶、咖啡类	Cd、Pb、As、Cu、六六六、滴滴涕、敌敌畏、啉虫脒、毒杀毙、多菌灵、甲胺磷、甲氧菊酯、菌落总数、克百威、乐果(含氧乐果)、联苯菊酯、氯氰菊酯、氰戊菊酯、三氟氯氰菊酯、三氯杀螨醇、三唑磷、杀螟硫磷、戊唑醇、锌、溴氰菊酯、乙酰甲胺磷、致病菌
粮食(玉米、大米)类	F、Cd、Hg、Pb、As、Sn、滴滴涕、倍硫磷、苯甲酸、大肠菌群、敌敌畏、毒死毙、甲基毒死毙、环己基氨基磺酸钠、黄曲霉毒素 B <sub>1</sub> 、甲胺磷、毒死毙、菌落总数、克百威、乐果、磷化物、氯氰菊酯、马拉硫磷、氰化物、三环唑、三唑磷、三唑酮、杀虫双、杀螟硫磷、山梨酸、糖精钠、溴氰菊酯、乙酰甲胺磷、致病菌
食用花卉、水果类	Pb、Cd、无机 As、Hg、F、Cr、六六六、滴滴涕、敌敌畏、三氯杀螨醇、杀扑磷、克螨特、克百威、咪酰胺、2,4-滴、阿维菌素、乐果、毒死毙、马拉硫磷、水胺硫磷、氰戊菊酯、甲氧菊酯、溴氰菊酯、氯氰菊酯、联苯菊酯、溴氰酯、噻嗪酮、吡虫啉、多菌灵、噻嗪酮、吡虫啉、抑霉唑、倍硫磷、杀螟硫磷、敌百虫、氯氰菊酯、百菌清、二嗪磷、辛硫磷、亚胺硫磷、二氧化硫、铜、亚硝酸盐、乙酰甲胺磷、三唑酮、氧乐果、对硫磷、甲拌磷、黄曲霉毒素 B <sub>1</sub> 、仲丁胺
蔬菜类	无机 As、Hg、F、Pb、Cd、Cr、六六六、滴滴涕、三唑磷、氯氰菊酯、氟氯氰菊酯、啉虫脒、吡虫啉、多菌灵、百菌清、腐霉利、啉霉胺、三唑酮、毒死毙、氯氰菊酯、除虫脒、氟虫腈、乙烯菌核利、联苯菊酯、乙酰甲胺磷、敌敌畏、甲萘威、抗蚜威、异菌脲、氰戊菊酯、氟戊菊酯、乐果、辛硫磷、溴氰菊酯、吡虫啉、苯醚甲环唑、2,4-滴、亚硫酸盐、亚硝酸盐、三氟氯氰菊酯、敌百虫、五氯硝基苯、灭幼脲、灭蝇胺、甲霜灵、大肠菌群、霉菌和酵母、致病菌、甲胺磷、马拉硫磷、对硫磷、杀螟硫磷、倍硫磷、毒杀毙、氯菊酯
坚果类	As、Hg、Pb、Cd、F、无机 As、六六六、滴滴涕、杀螟硫磷、倍硫磷、乐果、敌敌畏、马拉硫磷、黄曲霉毒素 B <sub>1</sub> 、涕灭威、克百威、氰戊菊酯、氯菊酯、对硫磷、菌落总数、大肠菌群、致病菌、酸价、过氧化值、二嗪磷、多菌灵、甲萘威、二氧化硫、黄曲霉毒素总量(B <sub>1</sub> 、B <sub>2</sub> 、G <sub>1</sub> 、G <sub>2</sub> )、毒死毙、氯氰菊酯、涕杀威

表 17 绿色食品检测指标范围（续）

种类	指标
畜禽产品类	Hg、无机 As、Pb、Cd、Cr、F、Sn、Zn、六六六、滴滴涕、敌敌畏、四环素、土霉素、金霉素、强力霉素、氟苯尼考、甲砒霉素、恩诺沙星、磺胺类药物、硝基呋喃类代谢物、喹乙醇代谢物、菌落总数、大肠菌群、致病菌、磺胺类、铜、伊维菌素、己烯雌酚、磺胺二甲基嘧啶、磺胺二甲氧嘧啶、磺胺间甲氧嘧啶、磺胺甲恶唑、磺胺喹恶啉、喹乙醇、盐酸克伦特罗、氯霉素、呋喃唑酮、三甲胺氮、过氧化值、酸价、苯并（ $\alpha$ ）芘、亚硝酸盐、糖精钠、苯甲酸及其钠盐、山梨酸及其钾盐、丁基羟基茴香醚、二丁基羟基甲苯、特丁基对苯二酚、没食子酸丙酯、挥发性盐基氮、敌百虫、硝基呋喃类、二氯二甲吡啶酚、二甲硝咪唑、环丙沙星
渔业产品类	无机 As、F、Hg、Cr、Pb、Cd、六六六、滴滴涕、土霉素、金霉素、四环素（以总量计）、硝基呋喃类代谢物、双甲咪、喹乙醇代谢物、喹诺酮类药物、敌百虫、磺胺类药物（以总量计）、溴氰菊酯、挥发性盐基氮、甲基汞、多氯联苯、氯霉素、己烯雌酚、孔雀石绿、五氯酚钠、甲醛、土霉素、金霉素、四环素、呋喃唑酮、恶唑酸、苯甲酸、山梨酸、菌落总数、大肠菌群、致病菌、石油烃、麻痹性贝类毒素、腹泻性贝类毒素、亚硫酸盐、硼酸、明矾
蜂产品	As、Pb、Cd、F、Hg、六六六、滴滴涕、胺氰菊酯、氟氯苯氧菊酯、溴氰酯、双甲脒、硝基呋喃类、氯霉素、硝基咪唑类、磺胺类、土霉素/金霉素/四环素（总量）、链霉素、菌落总数、大肠菌群、致病菌、霉菌和酵母计数
乳制品	无机 As、Pb、Cr、Sn、硝酸盐、亚硝酸盐、四环素、金霉素、土霉素、青霉素、链霉素、庆大霉素、卡那霉素、恩诺沙星、磺胺类、苯甲酸、菌落总数、大肠菌群、致病菌
人参和西洋参	As、Pb、Cd、Hg、六六六、滴滴涕、五氯硝基苯、菌落总数、大肠菌群、霉菌
枸杞	As、Pb、Cu、Cd、六六六、滴滴涕、敌敌畏、乐果、氯氰菊酯、氯戊菊酯、毒死蜱、二氧化硫、马拉硫磷、甲拌磷、对硫磷、氧化乐果、久效磷、克百威、三氯杀螨醇、致病菌
香辛料及其制品	Pb、Cd、As、Hg、黄曲霉毒素（B <sub>1</sub> 、B <sub>2</sub> 、G <sub>1</sub> 和G <sub>2</sub> 的总量）、黄曲霉毒素B <sub>1</sub> 、赭曲霉毒素、菌落总数、霉菌、大肠菌群、致病菌

## 9.5 综合评价与规划建议

9.5.1 按照 NY/T 391-2000 绿色食品产地技术条件中的各项环境质量指标和肥力指标要求，对研究区土壤、大气、水体等与农业生产有关的环境质量进行评价，并研究土壤、水体、大气中有害物质来源及其迁移转化规律。

9.5.2 参照 NY/T 394-2013、NY/T 393-2013、NY/T 471-2000 对评价区肥料、农药、饲料和饲料添加剂的安全性进行评价。

9.5.3 参照绿色食品卫生标准，对农产品的安全性进行评价，研究影响农产品安全性的地球化学因素及其控制条件。

表18 Cd、Hg 大气干湿沉降年通量环境质量评价标准值

评价指标	年通量 (mg·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	
	一等，数字代码为1	二等，数字代码为2
Cd	≤ 3	> 3
Hg	≤ 0.5	> 0.5

9.5.4 参照表 18 给出的大气 Cd、Hg 干湿沉降年通量值进行大气干湿沉降物环境质量评价。当大气干湿沉降物评价指标年沉降通量含量 $\leq$  该值时，表示大气干湿沉降物沉降对土壤环境质量影响不大；当大气干湿沉降物评价指标年沉降通量 $>$  该值时，表示大气干湿沉降物沉降对土壤环境质量影响较大。

9.5.5 根据评价结果，提出研究区绿色食品生产规划建议。

## 10 地方病病区生态地球化学评价

### 10.1 地方性氟病

10.1.1 选择发病区和对照区，详细了解地质背景、饮水类型、饮食结构、取暖方式与地方性氟病发病关系，初步确定地方性氟病的评价区和对照区。

10.1.2 对饮用地下水引起氟中毒的地区，应系统调查地下水的补给、径流、排泄条件，动态变化规律及地质背景、气象条件、水文条件及人为活动等影响因素。

10.1.3 对摄入高氟食物和燃煤型引起的氟中毒地区，实地调查记录发病区和对照区的人群发病史、饮食结构、生活方式（取暖方式）等信息。

10.1.4 根据地方性氟病发病的可能原因，选择所需采集的样品种类。

10.1.4.1 岩石及矿石样品。系统采集评价区和对照区主要岩石类型，重点采集萤石矿、冰晶石矿、煤矿、磷矿等矿床，以及富 F 的伟晶岩、黑色岩系、炭质泥页岩等类型岩石，每类样品要求分别采集新鲜、半风化和风化样品，每种样品不得少于 5 件，每件样品大于 1 kg，装入干净的布袋。样品采集时，需用 GPS 定位，记录所采集样品的岩性、颜色、主要矿物组成、结构构造、新鲜程度等信息。

10.1.4.2 农作物、根系土及土壤剖面样品。根据评价区人群饮食结构、土壤中 F 地球化学含量特征及高 F 地质体分布范围，确定所需采集的评价区和对照区主要农作物种类及对应的根系土。农作物要求采集可食部位，需要研究 F 等元素在农作物不同部位分布特征的样品，可采集农作物的根、茎、叶、果实。在高 F 地质体分布和土壤 F 高异常地区，可系统采集土壤剖面样品，研究 F 等元素在成土过程中富集规律及影响因素。土壤及土壤剖面样品采集、处理等要求同 8.1.3.1；农作物样品采集与处理要求同 8.1.3.2。

10.1.4.3 饮水与食物。系统采集发病区和对照区居民的饮水和食物（包括主食、副食、茶酒等日常摄入的食物种类）样品，并详细记录三餐饮食结构与摄入量。每户按照成人进食量平行取三餐所有主副食称重打匀浆，每件样品重 250 ~ 500 g，食物样品盛装在干净的自封袋内，立即放入冷藏室，12 小时内送实验室分析。测定 F 元素的饮水样品为不加任何保护剂的原样。如饮水中测定其他元素指标，需参照 6.2.2.2.5 要求添加不同保护剂。

10.1.4.4 在燃煤型地方性氟病发病区还应采集室内空气及室内存放的粮食样品，每类样品采集数量需大于 10 件。

10.1.5 各类样品测试指标可参照表 19 自行确定，F 及其他元素指标的测定方法应首选国标给出的测试方法，或按照 WS/T 88、WS/T 106 执行。

10.1.6 依据发病区和对照区饮水中氟含量、氟摄入量，参照 GB 17018-2011、WS/T 87 -1996 对地方性氟病的发病率和氟中毒程度进行划分与评价。研究蛋白质、维生素、微量元素及水体硬度等因素与地方性氟患病率、氟中毒程度的关系，查明研究区氟中毒的生态地球化学成因。

10.1.7 研究氟、钙、镁等元素在生态环境中的成因来源、迁移转化规律，为地方性氟病防控提出建议。

表19 地方性氟病发病区与对照区检测指标

地方性氟病类型	样品类型	测试指标
饮水型	饮水	氟、钙、镁、铝、硼、锌、硒、铜、钼、铁、硬度、pH值

表 19 地方性氟病发病区与对照区检测指标（续）

地方性氟病类型	样品类型	测试指标
饮茶型	奶茶、酥油茶、茶水	
	食物	氟、钙、镁、铝、硼、锌、硒、铜、钼、铁、蛋白质、维生素（VC、VB1、VB2、VD等）
燃煤型	饮水	氟、钙、镁、铝、硼、锌、硒、铜、钼、铁、硬度、pH值
	食物	氟、钙、镁、铝、硼、锌、硒、铜、钼、铁、蛋白质、维生素（VC、VB1、VB2、VD等）
	室内空气	氟化物（F）

## 10.2 地方性甲状腺肿

10.2.1 系统收集整理评价区土壤、水体中碘含量和居民饮食结构、生活方式及其地方性甲状腺肿发病率情况，充分考虑自然地理特征，选择土壤中碘含量异常地区和对照区，开展地方性甲状腺肿生态地球化学评价。

10.2.2 系统采集病区与对照区土壤、饮用水、碘盐和居民食物等样品，分析样品中碘、钙、镁、锰、氟等元素含量，水样中加测有机质、pH 值、硬度等指标。每类样品采集数量需大于 10 件，样品采集、加工处理同 10.1.4。

10.2.3 参照 GB 16005-1995、GB/T 19380-2003，对研究区地方性甲状腺肿患病率和发病程度进行划分与评价。

10.2.4 研究钙、镁、锰、氟等不同元素及水体中有机质、微生物等因素对人体吸收碘元素的影响，查明研究区甲状腺肿与克汀病的生态地球化学成因。

10.2.5 开展碘、钙、镁、锰、氟等元素在表生地球化学系统中的地球化学循环规律及影响因素研究，为地方性甲状腺肿的防控提供建议。

## 10.3 克山病与大骨节病

10.3.1 系统收集整理评价区土壤、水体中硒含量和居民饮食结构、营养状况、生活方式及其克山病和大骨节病发病率情况，充分考虑黑色岩系、含煤地层、硫化物矿床等地质背景，自然地理特征和土壤中硒、有机质、酸碱度等含量差异，选择有代表性的发病区（重点是新发病区）和对照区，开展克山病和大骨节病生态地球化学评价。

10.3.2 系统采集病区与对照区土壤、饮用水和居民食物等样品，分析土壤和饮水中腐殖酸、酸碱度、硒、钙、镁、锶、钡、铁、锰、铅、磷等指标含量，饮水中加测硬度、TOC 等指标。食物中分析硒、钙、镁、锶、钡、铁、锰、铅、磷等元素含量。每类样品采集数量需大于 10 件，样品采集、加工处理同 10.1.4。

10.3.3 研究土壤、饮水、食物中硒、钙、镁、锶等不同元素含量及其人体摄入量与大骨节病、克山病患病率之间的关系，探索其生态地球化学成因。

10.3.4 开展土地资源和农产品硒丰缺评价，查明土壤中硒异常成因来源、迁移转化规律，研究硒的生物有效性控制因素，为克山病和大骨节病的防控提供建议。

## 10.4 地方性 As 中毒

10.4.1 调研评价区居民饮用水类型、燃煤方式与地方性 As 中毒发病率情况，初步分析地方性 As 中毒类型（饮水型地方性 As 中毒、燃煤型地方性 As 中毒）。

10.4.2 在饮水型地方性 As 中毒地区，系统采集发病区和对照区居民的饮用水；在燃煤型地方性 As 中毒地区，还需采集敞灶燃用煤和居室内晾晒食物等样品，每类样品采集数量需大于 10 件，分析样品中的总 As 含量，饮水中增加  $As^{3+}$ 、 $As^{5+}$  测试指标。

10.4.3 样品采集、加工处理要求同 10.1.4。

10.4.4 依据 WS 277-2007，对研究区饮水型和燃煤型地方性 As 中毒进行生态地球化学评价。

10.4.5 研究饮水中 As 成因来源及其  $As^{3+}$ 、 $As^{5+}$  转化的地球化学控制因素，为地方性 As 中毒防控提供地球化学依据。

## 11 成果报告编写

### 11.1 图件编制

主要为工作底图、中间成果图和最终成果图。

#### 11.1.1 工作底图

根据不同局部生态地球化学评价内容差异，工作底图采用相应比例尺的农作物种植分布图、矿区地质图、地方病发病率图、地形地貌图、土壤类型图和土地利用现状图等。

#### 11.1.2 中间图件及实际材料图

中间图件主要为土壤元素或指标地球化学图、土壤水平或垂向剖面元素变化趋势图、元素或指标比值图等。

实际材料图包括各类介质采样点位图、航迹图及其他实际材料图。

#### 11.1.3 评价图及其应用性图件

根据不同局部生态地球化学评价内容差异，评价图主要为各种环境介质的环境质量等级图，土壤养分丰缺图、地方病患率图、生态风险图等；应用性图件包括绿色食品种植建议图、名特优产品种植建议图、富硒农产品开发建议图、地方病防控建议图、矿山生态管护建议图、污染场地土地利用建议图、污染场地修复治理建议图等系列图件。

### 11.2 报告编写

局部生态地球化学评价在调查、测试分析、资料整理和研究后，需进行报告编写。报告编写大纲参见附录H。

**附 录 A**  
**(资料性附录)**  
**设计书编写内容及要求**

## A.1 前言

### A.1.1 目的任务

包括任务来源、任务书的主要内容、技术要点、工作起始时间、成果提交时间及预期成果等。

### A.1.2 调查评价区范围及地理条件

包括调查与评价区的地理位置、行政区划、自然地理、气象水文、交通条件及社会经济概况等。

## A.2 调查评价区概况及环境质量问题

包括调查与评价区区域地质地球化学概况、以往勘查地球化学工作程度、多目标区域地球化学调查或其他区域地球化学调查（包括区域环境质量调查、区域农业调查和区域生态调查等）成果及主要生态环境问题评述。

## A.3 调查与评价内容

### A.3.1 调查工作内容

根据评价区不同类型疏松覆盖层、河流、浅层地下水、湖泊、滩涂、近岸海域沉积物分布情况，工矿企业污染物种类，名特优农产品与富硒农产品分布，绿色食品种植规划，以及地方性疾病发病状况等，研究和确定野外采样方案。

### A.3.2 评价内容

依据环境地球化学调查结果，细化异常元素来源追踪、迁移途径研究、生态效应评价和变化趋势及危害程度的预测预警等项内容。

### A.3.3 重点问题

论述工作内容中的难点和重点问题及拟采用的解决方案。

## A.4 技术路线及工作方法

### A.4.1 技术路线

包括技术路线、关键技术和技术创新等。

### A.4.2 工作方法

包括工区布置、样品采集、样品加工、样品测试、质量监控、结果整理和成果表达等。

## A.5 工作部署

### A.5.1 工作部署原则

根据任务书或委托合同书要求，有针对性地阐述总体工作思路和部署原则，说明各项工作间的衔接关系。

### A.5.2 总体工作部署及年度工作部署

说明总体及年度工作安排的主要内容和工作量，当年工作安排要具体。

## A.6 实物工作量

为完成目标任务设计的实物工作量，附工作量一览表。

## A.7 预期成果及提交时间

### A.7.1 预期成果

包括调查评价报告、各类图件。

### A.7.2 成果提交时间

按照任务书或委托合同书要求，说明成果提交的时间。

## A.8 组织机构及人员安排

### A.8.1 组织管理

说明项目执行过程中的组织管理方式和组织结构。

### A.8.2 项目组成员及分工

包括项目负责人简历、项目组研究基础，列表说明项目组成员姓名、年龄、技术职务、从事专业、工作单位、在项目中的分工和参加项目的工作时间等。

## A.9 经费预算

见“地质调查项目设计预算编写要求”，包括编制说明和设计预算表。

## A.10 质量保证与安全措施

### A.10.1 质量保证措施

说明为保障任务完成而采取的各种质量保证措施，包括野外样品采集、处理过程中采取的措施、样品数据分析过程中的各项质量保证措施和提高工作人员技术水平所采用的技术培训措施等。

### A.10.2 安全与劳动保护措施

说明项目执行过程中所采取的各项安全和劳动保护措施。

## A. 11 设计附图及附表

### A. 11.1 附图

包括交通位置图、工作程度图（与生态地球化学评价相关的调查工作）、地质矿产图、土壤类型图及以往主要元素和指标的调查结果图、工作部署图及其他需要的图件。

### A. 11.2 附表

评价工作中需要的各类表格。

## 附录 B

(资料性附录)

## 元素有效态、相态、价态等指标的分析方法与质量监控

## B.1 元素有效态

## B.1.1 分析项目

土壤元素有效态分析项目主要包括铵态氮、硝态氮、有效磷、缓效钾、速效钾、交换性钾、交换性钠、交换性钙、交换性镁、阳离子交换量、有效硼、有效钼、有效铜、有效锌、有效铁、交换性锰、易还原锰、有效硫、有效硅、浸提性铅、浸提性钴等。

## B.1.2 样品制备

样品制备内容如下：

- 试样需剔除其他非土成分，然后经过风干（需用新鲜土分析的样品除外）、磨细、过筛、混匀、分装、制成待分析试样；制备好的样品需用聚乙烯密实袋或磨口玻璃瓶盛装，隔绝空气，防止因微生物活动而变质、发霉，外套牛皮纸袋以便编号和防止磨损划破；
- 元素有效态分析对试样的质量、粒度和状态有不同的要求，每个分析项目所需试样的质量、粒度和状态见表 B.1。

表B.1 土壤元素有效态分析项目对样品的要求

分析项目	一次测试需要样量 (g)	样品粒度 (mm) 及状态要求
铵态氮	1.0 ~ 2.0	2 (风干土)
硝态氮	50.0	2 (新鲜土)
有效磷	5.0	2 (风干土)
缓效钾	5.0	2 (风干土)
速效钾	5.0	2 (风干土)
交换性钾钠钙镁	2.0 ~ 5.0	2 (风干土)
阳离子交换量	2.0 ~ 5.0	2 (风干土)
有效硼	20.0	2 (风干土)
有效钼	25.0	2 (风干土)
有效铜、锌、铁和浸提性铅、钴	10.0 ~ 25.0	2 (风干土)
交换性锰	10.0	2 (新鲜土)
易还原锰	10.0	2 (新鲜土)
有效硫	10.0	2 (风干土)
有效硅	10.0	2 (风干土)

## B.1.3 分析方法与质量要求

具体内容如下：

- 土壤中元素有效态和元素浸提性分析方法，见表 B.2；
- 土壤中元素有效态和元素浸提性分析方法检出限最低要求，见表 B.3。如评价区土壤样品元素有效态数据的报出率低于 85% 时，必须采取有效的措施降低分析方法检出限，以满足要求；
- 元素有效态分析方法的准确度及精密性，应采用国家一级标准物质进行考查。选择 2 ~ 3 个标准物质，每个标准物质测定 5 ~ 8 次，测定结果按单个元素单个标准物质计算测定值与标准值

的相对误差 ( $RE\% = \frac{C_i - C_s}{C_s} \times 100\%$ )，其测量值与标准值的相对误差允许限，等同采用样品分析相对偏差允许限，以考查分析方法的准确度。同时计算 5~8 次测定的 RSD，考查分析方法精密度，RSD 要求  $\leq 20\%$ 。

表B.2 元素有效态分析方法与出处

监测项目	分析仪器	分析方法	方法来源
铵态氮	扩散皿	氧化镁浸提-扩散法	LY/T 1231-1999
硝态氮	分光光度计	酚二磺酸比色法	LY/T 1230-1999
碱解氮	扩散皿、滴管	碱解-扩散法	LY/T 1229-1999
速效钾、缓效钾	火焰光度计	火焰光度计法	NY/T 889-2004
有效铝	分光光度计、极谱仪	草酸-草酸铵浸提-硫氰化钾比色法和极谱法	LY/T 1259-1999
有效硅	可见光分光光度计	比色法	NY/T 1121.15-2006
有效硫	分光光度计	硫酸钡比浊法	NY/T 1121.14-2006
有效硼	分光光度计	甲亚胺-H 比色法	NY/T 1121.8-2006
有效磷	分光光度计	钼锑抗光度法	石灰性土壤按 NY/T 148-1990，酸性土壤按 NY/T 1121.7-2006
土壤有效锌、有效铜、有效铁、有效锰、浸提性钴和浸提性铅	原子吸收分光光度计，附有空气-乙炔燃烧器及锌、锰、铁、铜、钴和铅空心阴极灯；或等离子体发射光谱仪	原子吸收分光光度法、电感耦合等离子体发射光谱法	NY/T 890-2004
交换性钙和镁	原子吸收分光光度计，钙、镁空心阴极灯	原子吸收分光光度法	NY/T 1121.13-2006
pH	离子计	玻璃电极法	NY/T 1377-2007
阳离子交换量	火焰光度计、原子吸收分光光度计和滴定装置		中性土壤和微酸性土壤按 NY/T 295-1995，石灰性土壤按 NY/T 1121.5-2006

表B.3 分析方法检出限要求

单位为 mg/kg

项目	检出限	项目	检出限
铵态氮、硝态氮	1.25	有效硼、有效铝	0.005
有效磷	0.25	有效（活性）锰	0.01
速效钾和交换性钾、钠	1.25	有效铜、有效锌、有效铁	0.02
缓效钾、交换性钙和镁	1.25	浸提性钴、浸提性铅	0.02
有效（活性）硅、有效硫	0.10	阳离子交换总量	2.5 m mol/L

#### B.1.4 样品分析质量要求

B.1.4.1 对所要分析的样品先进行pH值测定，以pH值7.50为界，分成中、酸性土壤和碱性土壤两大类，pH $\leq$  7.50为中、酸性土，pH $>$  7.50为碱性土，按类编码、分批，并按不同土类采用不同浸提剂进行浸提。

B.1.4.2 元素有效态样品分析的准确度控制。每一分析批（50 件样品）密码插入2 个与土壤酸碱性相匹配的国家一级标准物质与样品一同分析，每批分析完毕，按每个标准物质计算测量值与标准值之间的相对误差，并按表B.4允许相对偏差要求，统计合格率，合格率要求达到100%。

B.1.4.3 元素有效态样品分析的精密度的控制。按所送样品总数随机抽取5%试样编成密码，交由熟练分析技术人员，单独进行重复分析，并按表B.4允许相对偏差要求，统计合格率，合格率要求 $\geq$  85%。

表B.4 元素有效态及浸提性分析相对偏差允许限

测定项目	含量范围	允许相对偏差
铵态氮、硝态氮、速效钾、缓效钾	> 50 (mg/kg)	5%
	≤ 50 (mg/kg)	2.5 mg/kg (绝对偏差)
有效磷	> 10 (mg/kg)	10%
	10 ~ 2.5 (mg/kg)	20%
	≤ 2.5 (mg/kg)	0.5 mg/kg (绝对偏差)
交换性钾、钠、钙、镁	> 100 (m mol/kg)	10%
	100 ~ 10 (m mol/kg)	20%
	≤ 10 (m mol/kg)	2 m mol/kg (绝对偏差)
阳离子交换量	> 100 (m mol/kg)	5%
	≤ 100 (m mol/kg)	5 m mol/kg (绝对偏差)
有效硫、硅、铁、硼、锰、钼、铜、锌、浸提性钴、铅	> 1 (mg/kg)	5%
	1 ~ 0.1 (mg/kg)	10%
	≤ 0.1 (mg/kg)	0.01 mg/kg (绝对偏差)
有机质	> 10 (g/kg)	5%
	≤ 10 (g/kg)	0.5 g/kg (绝对偏差)
注 1: 相对偏差= (测定值-平均值) / 平均值×100%		
注 2: 绝对偏差= 测定值-平均值		

## B.2 元素相态

### B.2.1 分析项目

土壤中Cu、Pb、Zn、Co、Ni、Cd、Cr、Mn、Se、Hg、As、Sb等元素相态是指以水为提取剂提取的水溶态，以氯化镁为提取剂提取的离子交换态，以醋酸-醋酸钠为提取剂提取的碳酸盐结合态，以焦磷酸钠为提取剂提取的弱有机（腐殖酸）结合态，以盐酸羟胺为提取剂提取的铁锰结合态，以过氧化氢为提取剂提取的强有机结合态和以氢氟酸提取的残渣态。

### B.2.2 样品制备

土壤样品需过20目筛（< 0.84 mm），经室温风干混匀后缩分取土壤试样200 g，采用玛瑙无污染样品制备机具将样品粉碎至小于100目筛（< 0.25 mm）装袋备用。

### B.2.3 分析方法与检出限

称取定量样品，分别以水、氯化镁、醋酸钠、焦磷酸钠、盐酸羟胺、过氧化氢为提取剂提取水溶态、离子交换态、碳酸盐结合态、腐殖酸结合态、铁锰氧化物结合态、强有机结合态，制备各形态分析液。取适量提取上述各形态后的残渣，用盐酸、硝酸、高氯酸、氢氟酸处理后制备残留态分析液。用全谱直读电感耦合等离子发射光谱法分析各相态中的Cu、Pb、Zn、Mn、Co、Ni、Cd、Cr、Mo。用氢化物发生原子荧光光谱法分析As、Sb、Hg、Se。分析方法检出限要求见表B.5。

表B.5 分析方法的检出限要求

元素	测定范围 (μg/g)	检出限 (μg/g)						
		水溶态	离子交换态	碳酸盐态	弱有机结合态	铁锰结合态	强有机结合态	残渣态
Cu	0.05 ~ 1000	0.05	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1
Pb	0.1 ~ 200	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2
Zn	0.1 ~ 200	0.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	2
Co	0.05 ~ 200	0.05	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	1

表B.5 分析方法的检出限要求（续）

元素	测定范围 ( $\mu\text{g/g}$ )	检出限 ( $\mu\text{g/g}$ )						
		水溶态	离子交换态	碳酸盐态	弱有机结合态	铁锰结合态	强有机结合态	残渣态
Ni	0.05 ~ 200	0.05	0.3	0.3	0.5	0.3	0.5	2
Cd	0.005 ~ 200	0.005	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
Cr	0.1 ~ 200	0.1	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	5
Mn	1 ~ 600	1	5	5	5	5	5	10
Mo	0.05 ~ 200	0.05	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
Se	0.005 ~ 20	0.005	0.010	0.005	0.005	0.010	0.005	0.01
Hg	0.001 ~ 2	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005
As	0.05 ~ 100	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1
Sb	0.005 ~ 100	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05

#### B.2.4 分析方法质量要求

相态分析方法的准确度控制。以土壤中元素全量分析作为标准，与各分态之和比较，计算其相对偏差 $[RE\% = 100\% \times (C_{\text{总}} - C_{\text{全}}) / C_{\text{全}}$ ，式中： $C_{\text{全}}$ ：元素全量； $C_{\text{总}}$ ：元素相态总量]，要求 $RE \leq 40\%$ ；相态分析方法的精密度，以同一份样品重复测定8次，计算各相态重复分析的RSD，要求 $RSD \leq 30\%$ 。

#### B.2.5 样品分析质量要求

具体要求如下：

- 相态分析样品准确度的控制，等同采用分析方法的准确度考查办法；
- 相态分析样品精密度的控制，按样品总数的15%~40%随机抽取重复性检验样品，基本样品与重复性样品一同分析。计算基本分析与内检分析测量值的相对偏差 $(RE\% = \frac{(A-B)}{(A+B)} \times 100\%)$ ，

应满足表B.6的要求。单元素单相态分析数据的合格率应 $\geq 85\%$ ；

表B.6 检查分析监控限

含量范围 ( $\mu\text{g/g}$ )	RE (%)
$\leq$ 三倍方法检出限	40
$>$ 三倍方法检出限	30

- 残渣态是经分离水溶态、可交换态、碳酸盐结合态、铁锰结合态和有机结合态后残渣用氢氟酸分解后测定，不应采用总量与前六种相态之和相减求得，各相态加和总量不应低于80%，不得高于105%，各态总和超过全量5%以上者，必须检查原因，直至全部返工。

### B.3 元素价态

#### B.3.1 分析项目

元素价态是指土壤、水样品中元素离子的不同价态，主要包括 $\text{As}^{3+}$ 、 $\text{As}^{5+}$ 、 $\text{Sb}^{3+}$ 、 $\text{Sb}^{5+}$ 、 $\text{Cr}^{3+}$ 、 $\text{Cr}^{6+}$ 、 $\text{Se}^{4+}$ 、 $\text{Se}^{6+}$ 。

#### B.3.2 样品制备

样品制备步骤如下：

- 土壤样品元素价态分析样品一般应保存在磨口玻璃瓶或外套牛皮纸袋的密实聚乙烯袋中；

- b) 土壤中元素的价态分析试样制备同元素形态分析，浸提水溶态或离子交换态后进行测定；
- c) 土壤中 Cr 价态分析样品应过 20 目筛 (< 0.84 mm)，新鲜土样，尽快分析，另取一份样品同时进行水分分析，用以校正价态分析结果；
- d) 浅层地下水、地表水和土壤溶液，可根据测试要求，取一定量水样，直接测定，当水样混浊时，先用 0.45 μm 滤膜过滤，滤液用于测定。

### B.3.3 分析方法与检出限

元素价态分析方法和检出限，见表B.7。

表B.7 土壤样品元素价态分析方法

元素	形态	价态	检出限 (μg/g)	参考分析方法提要
As	水溶态和离子交换态	As <sup>3+</sup>	0.02	用水提取水溶态 As，用 0.6 mol/L 磷酸二氢钾提取可交换态 As，提取液用阴离子树脂交换或还原差减法分离，原子荧光光谱法分析，提取固液比 1:10。
		As <sup>5+</sup>	0.02	
Cr	水溶态和离子交换态	Cr <sup>3+</sup>	0.05	用水提取水溶态 Cr，用 0.3 mol/L 醋酸铵提取可交换态 Cr，提取液用阴离子树脂交换分离，石墨炉原子吸收法分析，提取固液比 1:10。
		Cr <sup>6+</sup>	0.02	
Sb	水溶态和离子交换态	Sb <sup>3+</sup>	0.02	用水提取水溶态 Sb，用 0.2 mol/L 酒石酸提取可交换态 Sb，提取液用半胱氨酸还原差减法分离，原子荧光光谱法分析，提取固液比 1:10。
		Sb <sup>5+</sup>	0.02	
Se	水溶态和离子交换态	Se <sup>4+</sup>	0.01	按照土壤:水比例 1:5，提取水溶液测定土壤水溶态 Se。土壤水提液过 AG2-X8 离子交换树脂色谱柱，以 1 M 浓度 HCOOH 和 3 M 浓度 HCl 分别洗出吸附的亚硒酸盐 Se 和硒酸盐 Se，以硝酸:高氯酸为 2:1 的混酸消化还原后，以 2,3-二氨基萘显色、荧光分光光度法分别测定土壤总 Se、硒酸盐 Se 和亚硒酸盐 Se。
		Se <sup>6+</sup>	0.01	

### B.3.4 分析方法质量要求

采用水样或土壤提取液中加入不同价态元素标准溶液进行标准加入回收试验（标准加入量应为 10 倍分析方法检出限量）考核分析方法的准确度，标准加入回收率应为 90 ~ 110%；采用样品多份重复分析考核分析方法的精密度，当样品中被测组份含量大于或等于 10 倍的检出限量时，12 次测定的相对标准偏差应小于 15%。

#### B.3.4.1 分析样品质量要求

分析样品质量要求如下：

- a) 价态分析样品的准确度控制。每一分析批次应做不少于 2 次不同价态元素标准溶液回收试验，当标准加入量为 10 倍方法检出限量时，标准回收率应为 90 ~ 110%；
- b) 价态分析样品的精密度控制。每批分析样品应随机抽取 25 ~ 100% 的样品（不得少于 2 件样品）进行不同时间不同分析人员的重复性分析，计算 2 份分析的相对偏差 ( $RE\% = \frac{(A-B)}{(A+B)} \times 100\%$ )，

当样品含量在 3 倍检出限以内应不大于 100%，3 倍检出限以上应不大于 50%。

## B.4 生物样

### B.4.1 分析项目

生物样品包括动物样品和植物样品两大类。动物分析试样包括人体血液、尿液、毛发和动物的肌肉、脏器、蛋、乳等；植物分析试样包括粮食、蔬菜、瓜果的根、茎、叶、果实。分析元素主要有 Pb、Cd、Cr、Hg、As、Cu、Zn、Co、Ni 和 F 等。

#### B.4.2 动物样品室内处理

B.4.2.1 人发样品的处理，应先经1%的洗洁精浸泡12 h，再用一般蒸馏水冲洗干净，最后用去离子水清洗 3 次，于60 °C烘干备用。

B.4.2.2 人体血液样品从冷冻箱内取出后，直接进行消化分析。

B.4.2.3 大个体动物样、鲜活水产品样、贝类样品，从冷冻箱取出后进行解冻，将解冻样品在捣碎器内捣成均匀浆质，取部分浆质进行分析。

B.4.2.4 蛋类、乳类样品需搅拌均匀后，取部分样品消化后分析。

#### B.4.3 植物样品室内处理

B.4.3.1 农产品（包括稻谷、大米、小麦、玉米、豆类、茶叶等）的果实及根、茎、叶，蔬菜的果实及根、茎、叶应在刚采集的新鲜状态下冲洗，除去粘附土壤和因施肥、喷农药引起的污染，然后再用蒸馏水冲洗1 ~ 2 次；在室温下晾干。

B.4.3.2 将洗净的稻谷、大米、玉米、豆类、茶叶按下列要求处理：

- a) 分析易起变化的成分（如硝态氮、氨态氮、氰、无机磷、水溶性糖、维生素等）须用新鲜样品，如需短期保存，须在冰箱中冷藏；
- b) 分析不易变化的成分（常量元素和微量元素）须在 80 ~ 90 °C烘箱（最好用鼓风烘箱）中烘 15 ~ 30 min，然后降温至 60 ~ 70 °C，逐尽水分，时间大约 12 ~ 24 h。

B.4.3.3 瓜果的可食部分，按分析要求，取足样品，直接用捣碎机捣碎后消化分析。

B.4.3.4 蔬菜须先经切碎后捣碎或打浆后消化分析。

B.4.3.5 农产品和瓜果的根、茎、叶，经洗净后，用专门的切碎机切碎或用不锈钢工具切碎后，再用无污染破碎机，粉碎至20 ~ 40 目（0.84 mm ~ 0.42 mm）过筛，干燥后消化分析。

#### B.4.4 生物样品的分解

生物样品的分解方法分为干法和湿法两种：

- a) 干法分解法又分为直接干法分解法和保护灰化分解法；
- b) 湿法分解法分为常压分解法、高压分解法和微波分解法，应根据实验室设备配置、样品种类和所需分析元素不同，选用适当的分解方法。

#### B.4.5 生物样品分析方法

分析方法选择可参考有关国家标准、农业部门标准，也可根据本单位仪器配置情况选用，但无论选用何种分析方法，需符合表B.8分析检出限要求，必须达到分析方法和分析样品的质量控制参数要求。

#### B.4.6 分析方法质量要求

采用标准物质与加标回收相结合的办法，选择同类型标准物质1 ~ 2 件，每份样品分析8 次，计算

分析平均值与标准物质推荐值的相对误差 ( $RE = \frac{\overline{C_i} - C_s}{C_s} \times 100\%$ )，要求 $RE \leq 20\%$ 。计算单个标样8 份

分析的RSD，要求 $RSD \leq 15\%$ 。

#### B.4.7 分析样品质量要求

分析样品的准确度与精密度要求如下：

- a) 准确度控制。每一批分析样品（不限样品数量），插入同类型标准物质 1~2 件与样品同时分析，并计算单个样品单次测定值与标准物质推荐值的相对误差  $RE$ ，要求  $RE \leq 30\%$ ，若无标准物质可供选择时，则采取加标回收法控制，每一分析批（不限样品数量）加入 2 份已知浓度标准溶液，与样品同时分析，加标回收率应控制在 90~110% 之间；
- b) 精密度控制。采用重复分析方法控制样品分析的精密度，每件样品进行 100% 的重复分析，双份分析的相对偏差  $RE \leq 30\%$ 。

表B.8 生物样品分析方法的检出限要求

单位为  $\mu\text{g/g}$ 

元素	猪肉、鸡肉、牛肉		鲜鱼、鸡蛋		大米、水稻		脱水蔬菜	
	检出限	允许限	检出限	允许限	检出限	允许限	检出限	允许限
Hg	0.005	0.05	0.015	0.05 ~ 0.3	0.01	0.02	0.005	0.01
As	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3	0.7	0.3	0.5
Pb	0.3	0.5	0.06	0.5	0.1	0.5	0.1	0.2
Cd	0.05	0.1	0.03	0.05 ~ 0.1	0.1	0.1 ~ 0.2	0.03	0.05
Cr	0.5	1.0	0.5	1.0 ~ 2.0	0.5	1.0	0.2	0.5
Cu	1.0	10	1.0	5 ~ 50	1.0	10	1.0	10
Zn	1.0	100	1.0	50	1.0	50	1.0	20
Ni	0.1	0.2	0.1	0.1 ~ 0.3	0.1	0.4	0.1	0.3
F	1.0	2.0	1.0	1.0 ~ 2.0	1.0	1.0 ~ 1.5	1.0	1.0

## B.5 水质样

### B.5.1 分析项目

地表水、浅层地下水和土壤溶液分析元素以As、Cr、Cd、Cu、Hg、Pb、Zn、Ni及F为主，不同地区和不同水质样品，根据评价工作需要，可增加营养元素N、P、K分析及不同价态元素含量分析，有机污染物（六六六、DDT等）分析。

### B.5.2 样品贮存与保管

B.5.2.1 水质分析样品须贮存于乳白色长方形带内塞螺口的聚乙烯塑料壶内（内塞也应是塑料的）或玻璃瓶内，容积为1~1.5 L。

B.5.2.2 盛装水样的聚乙烯壶或玻璃瓶在盛装水样前，须先用 $\text{HNO}_3$  [ $\varphi(\text{HNO}_3) = 10\%$ ]或 $\text{HCl}$  [ $\varphi(\text{HCl}) = 10\%$ ]浸泡3 d后，再用自来水和蒸馏水冲洗干净，取样时还要先用待取水样洗涤3~5次，方可取样，样品取好后，应及时旋紧螺口瓶塞，再以石蜡将口封住。

B.5.2.3 待测元素不同，试样中加入的保护剂不同：

- a) 对测定Pb、Zn、Cu、Cd、Mn、Hg等重金属元素的水样，用500 mL聚乙烯瓶采集九成满水样，加入浓 $\text{HNO}_3$ ，使 $\text{pH} < 2$ ，测定Hg的水样中还需加入 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ，石蜡密封后立即送实验室。Hg要求15 d内测定，其他元素要求1个月内测定；
- b) 对测定化学需氧量、As元素的水样，用500 mL聚乙烯瓶采集九成满水样，加入浓 $\text{H}_2\text{SO}_4$ ，使 $\text{pH} < 2$ ，石蜡密封后立即送实验室。化学需氧量要求6 d内测定，As要求1个月内测定；
- c) 对测定pH、氟化物的水样，用500 mL聚乙烯瓶采集九成满水样，不加任何固定剂，石蜡密封后立即送实验室。pH要求1 d内测定，氟化物要求7 d内测定；

- d) 对六价 Cr 的水样，用 500 mL 聚乙烯瓶采集九成满水样，加入 40% 的 NaOH，使 pH 为 8~9，石蜡密封后立即送实验室。Cr<sup>6+</sup> 要求 1 d 内分析完毕。

### B.5.3 分析方法与检出限

B.5.3.1 水质样品的分析方法均按照水质分析系列国家标准分析方法进行。

B.5.3.2 需进行可过滤性、不可过滤性金属含量分析的水样，需用 0.45 μm 滤膜过滤，滤液经酸化和硝化后，测量可过滤性金属含量，滤膜残留物与滤膜一起消化，测量不可过滤性金属量。

B.5.3.3 部分分析元素的检出限要求，见表 B.9。

表 B.9 分析元素的检出限要求

单位为 mg/L

元 素	检 出 限	元 素	检 出 限	元 素	检 出 限
As	0.0004	Cr	0.004	Ni	0.03
Ba	0.01	Cl	1	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.003
Be	0.005	F	0.05	Pb	0.01
Ca	8	Fe	0.03	Se	0.0002
Co	0.05	Hg	0.0004	Zn	0.05
CN <sup>-</sup>	0.002	Mg	5	酚	0.002
Cd	0.05	Mn	0.01	pH	0.1 (无量纲)
Cu	0.05	Mo	0.001		

### B.5.4 分析方法质量要求

采用国家标准物质和加标回收两种方式进行控制。

### B.5.5 分析样品质量要求

B.5.5.1 准确度的控制。准确度的控制采用插入国家标准物质和加标回收两种方式进行：

a) 标准样品（或溶液样）对比分析：

- 1) 采用标准样（或质控样）与样品同步进行分析；
- 2) 每一批试样在 10 个以下，插入 1~2 个标准样品；10 个以上插入 2 个或 2 个以上标准样品。插入 1 个标准样品时，待测元素浓度应在工作曲线的中间部位；插入 2 个或 2 个以上标准样品时，待测元素浓度应在工作曲线的高、中、低三个部位；
- 3) 单个统计标准样品测量值与参考值的相对误差 ( $RE = \frac{C_i - C_s}{C_s} \times 100\%$ )， $RE \leq \frac{1}{\sqrt{2}} RD\%$  (RD% 为样品分析的允许相对双差) 即判定为合格，超出此范围即为不合格。标准样品不合格，应及时查找原因，直至返工。

为样品分析的允许相对双差) 即判定为合格，超出此范围即为不合格。标准样品不合格，应及时查找原因，直至返工。

b) 加标回收：

- 1) 样品加标回收检验（一般可用天然水样加入已知值的待测元素），标准加入量不得超过测定上限的 4/5。每批试样在 10 个以下时，加标回收试样数为 2~3 份，10 个以上试样数时，加标回收试样数为 3~4 份；
- 2) 加标回收率在 90~110% 范围内为合格，否则应予返工。

B.5.5.2 精密度的控制。采用以下重复分析的方法进行精密度控制：

- a) 每一批试样随机抽取 20% 作为检查分析样，一批试样少于 10 个，检查比例应增加至 30~50%；
- b) 重复分析应随机抽取，编成密码，可由不同人员分析，也可由同一人完成；

B.5.5.3 过程控制空白试验，每一个分析批，至少插入 2 个空白试验样。

B.5.5.4 所有元素项目的报出率应大于 90%。

## B.6 有机污染物

### B.6.1 分析项目

有机污染物分析项目主要为六六六、DDT、氯丹、艾氏剂、七氯、狄氏剂、异狄氏剂、多氯联苯、氰化物、挥发性总酚、甲基汞和烷基铅等。

### B.6.2 样品的贮存与保管

B.6.2.1 土壤和水样品要求贮存于干净的硬质玻璃容器内，并根据分析项目的稳定性注意保存。

B.6.2.2 玻璃容器在盛水前，须先用HNO<sub>3</sub>[ $\rho$ (HNO<sub>3</sub>)= 10%]或HCl[ $\rho$ (HCl)= 10%]浸泡，再用自来水和蒸馏水冲洗干净，取样时，还要先用待测水样冲洗，方可取样。

B.6.2.3 分析土壤中的有机氯样品，分析前应保存在-18℃冷冻箱中。

B.6.2.4 分析有机氯农药的水样，可在0℃~5℃下短期保存，或者加入水样量0.1%的硫酸[ $\rho$ (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)= 1.84 g/mL]（保存7 d），以抑制细菌对有机氯农药的降解。

B.6.2.5 分析多环芳烃的水样，应于采样后，在4℃下保存，6 d内分析。

B.6.2.6 生物样品应根据不同样品的稳定性注意保存：

- a) 多汁的瓜果、蔬菜和动物样品应尽量在新鲜状态下经捣碎机捣碎后尽快分析；
- b) 谷物及植物茎秆类样品经风干粉碎后，装于磨口玻璃容器，于-5℃以下避光保存。

### B.6.3 分析方法与检出限

应当选用气相色谱法或气—质谱联用法作为分析样品中有机污染物的分析方法。所使用的分析方法检出限应不低于国家标准或行业标准中的相关规定，土壤样品中部分有机污染物分析方法检出限参见表B.10。

表B.10 土壤样品中部分有机污染物分析方法检出限

类别	组分	检出限 (μg/g)
有机氯	六六六（包括α、β、γ、δ-HCH四种异构体）	0.001 ~ 0.005
	滴滴滴（包括DDE、DDT、DDD等四种异构体）	0.005 ~ 0.01
	氯丹	0.001
	艾氏剂	0.008
	七氯	0.008
	狄氏剂	0.005
	异狄氏剂	0.005
多氯联苯	二氯、三氯、四氯、五氯、六氯联苯	0.002 ~ 0.01
酚类	挥发性总酚	0.008
氰类	氰化物	0.1
重金属有机物	甲基汞	0.05
	烷基铅	0.002

### B.6.4 分析方法质量要求

采用样品中加入有机物标准品进行标准加入回收试验，考核分析方法的准确度，其要求应不低于国家标准或行业标准中的相关规定。

### B.6.5 分析样品质量要求

B.6.5.1 每一分析批次应做不少于2个有机物标准品回收试验，当标准加入量为10倍方法检出限量时，标准回收率应在85% ~ 115%，合格率应为100%。

B. 6. 5. 2 应随机抽取20%的样品（最少≥ 2 件样品）进行不同时间的内检分析，计算基本分析与检查分析的相对偏差（ $RE = \frac{(A-B)}{(A+B)} \times 100\%$ ），当样品含量在三倍检出限以内时应不大于100%，3倍检出限

以上应不大于50%，合格率要求90%以上。

B. 6. 5. 3 空白试验，每一个分析批，至少插入 2 个空白试验样。

## 附录 C

(资料性附录)

## 矿山环境质量地球化学评价土壤、水系样品测试指标

矿山环境质量地球化学评价土壤、水系样品测试指标见表C.1。

表C.1 矿山环境质量地球化学评价土壤、水系样品测试指标

矿山类型	土壤		水系（地表水和地下水）	
	必测指标	选测指标	必测指标	选测指标
岩浆硫化物矿床	pH、Pb、Cd、Hg、As、Cu、Ni、Co、Fe、Tl、Cr、V	S、Se、Sb、Zn、F、I	pH、硫酸盐、氯化物、Hg、As <sup>3+</sup> 、Se、Cd、Cr <sup>6+</sup> 、Pb	Fe、Mn、Cu、Zn、Co、Ni、高锰酸盐指数、硝酸盐（以N计）
碳酸盐矿床	pH、P、U、Th、Ba、F、Pb、V、S、Cd、Hg、As	Zn、Mo、Cu、Fe、Ba、Sr、K、Rn	pH、F、Hg、As <sup>3+</sup> 、Se、Cd、Cr <sup>6+</sup> 、Pb、总 $\alpha$ 放射性、总 $\beta$ 放射性	Fe、P、V、Cu、Zn、Ni、硫酸盐、高锰酸盐指数、硝酸盐（以N计）
铀、钍、稀土矿床	pH、K、Fe、F、Th、U、Mn、Ti、Pb、Cd、Hg、As、REE	Zn、S、P、 $\gamma$ 射线	pH、总硬度（以CaCO <sub>3</sub> 计）、F、Hg、As <sup>3+</sup> 、Se、Cd、Cr <sup>6+</sup> 、Pb、总 $\alpha$ 放射性、总 $\beta$ 放射性、REE	硫酸盐、Ba、P、Mn、Fe、Ti、高锰酸盐指数
锡、钨矽卡岩型、交代型矿床	pH、Sn、W、F、U、Th、K、Cu、As、Cd、Hg、Pb	P、Be、Zn、Fe、Mn、B、Mo、Bi、Cl	pH、Sn、W、As、F、U、Hg、As <sup>3+</sup> 、Se、Cd、Cr <sup>6+</sup> 、Pb	总硬度（以CaCO <sub>3</sub> 计）、Al、Fe、Zn、Mo、总 $\alpha$ 放射性、总 $\beta$ 放射性
钼矿	pH、U、Th、K、F、Mo、Cu、Mn、As、Cd、Hg、Pb	Rn、 $\gamma$ 射线、Be、Fe、Al、Zn	pH、As、F、U、Hg、As <sup>3+</sup> 、Se、Cd、Cr <sup>6+</sup> 、Pb	总硬度（以CaCO <sub>3</sub> 计）、Fe、Al、Cu、Zn
斑岩铜矿	pH、As、Cd、Cu、Fe、Mo、Pb、S、Zn、Hg、P	Sb、B、Co、K、Mn、Tl、U、V、Ni、Cl、Se	pH、As、F、U、Hg、As <sup>3+</sup> 、Se、Cd、Cr <sup>6+</sup> 、Pb	总硬度（以CaCO <sub>3</sub> 计）、硫化物、Cu、Fe、Mo、Zn、U、V、K、Ca、Mg、Ni、Al、Co
金、铜、铅锌矽卡岩矿床	pH、Cu、Pb、Zn、Co、As、Mo、Fe、S、Cd、F、Cr、Hg	Bi、Al、Mn、Se、Be、K、V、Ni	pH、SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 、Fe、Pb、Cu、Zn、Cd、Co、Ni、Mn、As	总硬度（以CaCO <sub>3</sub> 计）、硫化物、氰化物、悬浮物、Cl、Se、Al、V

表C.1 矿山环境质量地球化学评价土壤、水系样品测试指标（续）

矿山类型	土壤		水系（地表水和地下水）	
	必测指标	选测指标	必测指标	选测指标
矽卡岩型铁矿床	pH、Fe、Cu、Zn、Pb、As、Cd、F、Hg	Co、Ni、K、Mg、P、Cl	pH、Cu、Fe、Pb、As、Cd、Hg、F	Co、Ni、K、Mg、P、Cl、Zn、总硬度（以CaCO <sub>3</sub> 计）、硫化物、氰化物、悬浮物
浅成低温热液矿床	pH、As、Se、F、Cu、Pb、Hg、Cd	Fe、Zn、Mn、Ba、Sb、U	pH、Cu、Pb、Cd、Co、F、Hg、As、Se	Al、Mn、Fe、Zn、Ni、硫化物、氰化物、悬浮物
浅成低温石英—明矾石型金矿床	pH、Fe、Cu、As、S、Pb、Zn、Cr、Se、Hg、Cd、Tl、S	Bi、Mo、U、Th、K、Ni、Co	pH、氰化物、As、Co、Ni、Cr、Th、Se、U、Hg、Cd、Pb	硫化物、悬浮物、Fe、Al、Be、Bi、Sb、Tl、Mn、Zn、Cu
低钛氧化型Cu-U-Au-REE矿床	pH、U、Th、F、P、Cl、Cu、As、Cd、Pb、Hg、S	Rn、K、Mn、Co、Ni、Mo、V、Cr、Ni	pH、F、氰化物、U、Th、镭、硫化物、As、Cd、Pb、Hg、Cl	悬浮物、P、Cu、K、Mn、Co、Ni、Mo、V
卡林型金矿	pH、As、Hg、Tl、Se、S、Pb、Cd	Fe、Al、Cu、Zn、Ni、Sn、Ba、Mn、Co	pH、As、Hg、Tl、Se、S、Pb、Cd 硫化物、氰化物	Eh、悬浮物、Fe、Al、Cu、Zn、Ni、Sn、Mn
汞矿	pH、Hg、As、Tl、甲基汞、Pb、F、Cl、I、Cd、Se	Zn、Fe、U、Th、K、Sb、Ni、Cr	pH、Hg、As、Tl、甲基汞、Pb、F、Cl、I、Cd、Se、氯化物、硫酸盐	U、Th、K、总α放射性、总β放射性
石棉矿	pH、Cu、Ni、Pb、Cd、Hg、As、Cr	U、Th、K、Se、S、I、F	pH、硫酸盐、总硬度（以CaCO <sub>3</sub> 计）、Hg、As <sup>3+</sup> 、Se、Cd、Cr <sup>6+</sup> 、Pb	总α放射性、总β放射性、溶解性总固体、
萤石矿	pH、F、U、Th、K、Pb、Cd、As、Hg、Cl	Zn、Fe、K、S、Cu、Cr、Mo	pH、F、Hg、As <sup>3+</sup> 、Cd、Pb、总α放射性、总β放射性	氰化物、硫化物、Zn、Fe、K、S、Cu、Cr、Mo
煤矿	pH、F、As、Se、Hg、Cr、Cl、Pb、Cd、Mn、V、U、Th	Mo、B、Ni、Be、P、Cu、Zn、Ba、Co、Sb、Sn、Tl、油类污染物	pH、COD、Hg、Cd、Cr、Cr <sup>6+</sup> 、Pb、As、Zn、Fe、Mn、氰化物、悬浮物、石油类	总α放射性、总β放射性、
石油	pH、F、As、Se、Hg、Cr、Cl、Pb、Cd、石油类污染物	植物营养元素	pH、COD、石油类、酚、丙酮、芳烃、氢氧化钠、硫化物	溶解盐类

附 录 D  
(资料性附录)  
生态风险评价方法简介

生态风险评价是指识别环境中可能的风险源，确定与人体发生接触的暴露途径，定量评价暴露结果对人体健康产生的危害程度。生态风险评价系统一般包括：风险识别、暴露评价、毒性评价和风险特征描述。

### D.1 风险识别

由于各种化学物质的浓度不同以及毒性不同，其对人体健康的影响也不同，故需要选择对环境敏感的元素或化合物作为评价指标。根据化学物质在环境介质中的浓度和相应的毒性值（表D.1），通过计算风险得分可以筛选指标，美国环保局推荐的计算公式为：

$$R_{ij} = C_{ij} \times T_{ij} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

$R_{ij}$ ——化学物质*i*在介质*j*中的风险得分；

$C_{ij}$ ——化学物质*i*在介质*j*中的浓度（一般选择最大浓度值）；

$T_{ij}$ ——化学物质*i*在介质*j*中的毒性数据（斜率系数或者 $1/RfD$ ）。

表D.1 化学物质的毒性数据值

化学物质	非致癌口服参考剂量(mg·kg <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	致癌单元风险((μg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> )
As	0.002 <sup>a</sup>	—
Cd	0.001（食物）、0.0005（饮水）	1.8E <sup>-3</sup> （吸入）
Cr	0.003	—
Hg	0.0007 <sup>a</sup>	—
Mn	0.14	—
Ni	0.02	2.4E <sup>-4</sup> （吸入）
Pb	0.0035 <sup>a</sup>	—
Se	0.005	—
Zn	0.3	—
六氯苯	8E <sup>-4</sup>	4.6E <sup>-4</sup> （吸入）
七氯	5E <sup>-4</sup>	1.3E <sup>-3</sup> （吸入）
艾氏剂	3E <sup>-5</sup>	4.9E <sup>-3</sup> （吸入）
狄氏剂	5E <sup>-5</sup>	4.6E <sup>-3</sup> （吸入）
α-HCH	—	1.8E <sup>-3</sup> （吸入）
β-HCH	—	5.3E <sup>-4</sup> （吸入）
p,p'-DDT	5E <sup>-4</sup>	9.7E <sup>-5</sup> （吸入）
<sup>a</sup> 数据来自 WHO 所推荐(WHO 2003a;WHO 2003b; WHO 2005); 其它数据来自 Integrated Risk Information System (US EPA, 2006)		

公式:

$$R_j = R_{1j} + R_{2j} + R_{3j} + \cdots R_{ij} \dots\dots\dots (D. 2)$$

式中:

$R_j$ ——介质j的总风险得分;

$R_{ij}$ ——化学物质i在介质j中的风险得分。

通过计算各化学物质得分占各介质总风险得分的比例 ( $R_{ij}/R_j$ ), 反映不同化学物质对各介质风险的贡献, 为避免低估风险, 一般要求选取的评价指标风险得分之和不低于总风险得分的99%。

## D. 2 暴露评价

暴露反映了人体与污染物的接触。暴露评价就是对暴露范围、频率、周期和途径的评估。暴露评价包括识别潜在的暴露途径、评估暴露浓度、确定潜在暴露人口、评估化学物质摄入量。化学物质摄入量一般用每日每公斤体重摄入的污染物的质量单位 ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ) 表示, 以此对污染物的影响进行评价。一般从食物摄入、饮水、皮肤接触和呼吸摄入四种途径进行暴露评价 (US EPA, 1989a)。

### D. 2. 1 食物摄入

通过食物摄入途径, 各种化学物质的日摄入量计算公式为:

$$I_{\text{食物}} = \frac{CF \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (D. 3)$$

式中:

$I_{\text{食物}}$ ——通过食物摄入途径化学物质的平均日摄入量 (单位:  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ );

$CF$ ——食物中化学物质的浓度 (单位:  $\text{mg}/\text{kg}$ );

$IR$ ——食物的日摄入量 (单位:  $\text{kg}/\text{d}$ );

$EF$ ——暴露频率 (单位:  $\text{d}/\text{y}$ );

$ED$ ——暴露期 (单位:  $\text{y}$ );

$BW$ ——成年人的平均体重 (单位:  $\text{kg}$ );

$AT$ ——平均时间 (单位:  $\text{ED}\times 365\text{d}/\text{y}$ )。

若没有详细的调查资料, 暴露的频率 ( $EF$ ) 采用365  $\text{d}/\text{y}$ , 暴露期 ( $ED$ ) 采用传统的70  $\text{y}$ , 成年人的平均体重给定为60  $\text{kg}$ , 平均时间为25 550  $\text{d}$ 。

### D. 2. 2 饮水摄入

通过饮用水摄入途径, 各种化学物质的日摄入量计算公式为:

$$I_{\text{饮水}} = \frac{CW \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (D. 4)$$

式中:

$I_{\text{饮水}}$ ——通过饮水摄入途径化学物质的平均日摄入量 (单位:  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ );

$CW$ ——地下水中化学物质的浓度 (单位:  $\text{mg}/\text{L}$ );

$IR$ ——饮用水的日摄入量 (单位:  $\text{L}/\text{d}$ );

$EF$ ——暴露频率 (单位:  $\text{d}/\text{y}$ );

$ED$ ——暴露期 (单位:  $\text{y}$ );

$BW$ ——成年人的平均体重 (单位:  $\text{kg}$ );

$AT$ ——平均时间 (单位:  $\text{ED}\times 365\text{d}/\text{y}$ )。

若没有详细的调查资料，可参考美国环保总局和国家环保总局推荐的各种参数。其中：饮用水的日摄入量为1.49/d (US EPA, 1989b)，暴露的频率 (EF) 采用365 d/y，暴露期 (ED) 采用传统的70 y，成年人的平均体重给定为60 kg，平均时间为25 550 d。

### D. 2. 3 皮肤接触

通过皮肤接触途径，各种化学物质的日摄入量计算公式：

$$I_{\text{皮肤}} = \frac{CS \times CF \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (D. 5)$$

式中：

- $I_{\text{皮肤}}$ ——通过皮肤接触土壤化学物质的平均日摄入量 (单位：mg·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>)；
- CS——土壤中化学物质的浓度 (单位：mg / kg)；
- CF——转换因子[kg/(mg·d)]；
- SA——皮肤接触表面积 (单位：cm<sup>2</sup>，数值参考美国环保局, 1989)；
- AF——皮肤对土壤的粘滞系数 (mg/cm<sup>2</sup>)；
- ABS——皮肤对土壤中化学物的吸附比；
- EF——暴露频率 (单位：d/y)；
- ED——暴露期 (单位：70 y或30 y或9 y)；
- BW——成年人的平均体重 (单位：kg)；
- AT——平均时间 (单位：ED×365 d/y)。

若没有详细的调查资料，参考美国环保总局和国家环保总局推荐的各种参数。其中暴露频率 (EF)、暴露期 (ED)、成年人的平均体重 (BW) 和平均时间 (AT) 参考值同饮用途径的重金属日摄入量的计算公式。其中转换因子 (CF) 采用10<sup>-6</sup>，皮肤接触表面积 (SA) 采用2 550 cm<sup>2</sup>，粘滞系数 (AF) 采用0.09 mg/cm<sup>2</sup>，皮肤对土壤中化学物的吸附比采用0.01。

### D. 2. 4 呼吸摄入

通过呼吸摄入途径，各种化学物质的日摄入量计算公式：

$$I_{\text{呼吸}} = \frac{CA \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (D. 6)$$

式中：

- $I_{\text{呼吸}}$ ——通过呼吸途径化学物质的平均日摄入量 (单位：mg·kg<sup>-1</sup>·d<sup>-1</sup>)；
- CA——空气中化学物质的浓度 (单位：mg/m<sup>3</sup>)；
- IR——呼吸率 (单位：m<sup>3</sup>/h)；
- ET——暴露时间 (单位：h/d)；
- EF——暴露频率 (单位：d/y)；
- ED——暴露期 (单位：y)；
- BW——成年人的平均体重 (单位：kg)；
- AT——平均时间 (单位：ED×365 d/y)；

若没有详细的调查资料，暴露频率 (EF)、暴露期 (ED)、成年人的平均体重 (BW) 和平均时间 (AT) 参考值同上。呼吸率 IR×ET 取平均值20 m<sup>3</sup>/d (US EPA, 1989b)。

## D. 3 毒性评价

毒性评价是建立在大量试验的基础上,反映某种危害因子的暴露量与反应间的关系,一般从非致癌和致癌两方面效应获得相应的毒性阈值和斜率系数或单元风险。

毒性评价为特殊污染物的暴露对个体造成致病影响提供了潜在的证据,反映了污染物暴露程度与增加的致病程度和可能性的关系。包括危害识别和剂量—反应评估两个要素:

- a) 危害识别是检查某种因子对人和其他动物产生不良健康反应的能力;危害识别的目的可以通过两种研究方法而达到,其一是毒理学的方法,其二是流行病学的方法;
- b) 剂量—反应评估是检查对某种危害因子的暴露量与相应反应间的量化关系。从这种量化的剂量—反应关系中引出毒性值(如参考剂量和斜率系数),用于估算暴露于某种因子的人群产生不良健康效应的发生率或潜在的可能性。

#### D.4 风险描述

风险描述是健康风险评价中的最后一步。在这个程序中将毒性和暴露评估统一起来成为具有数量和质量特征的风险表达式。当一种污染物通过几种不同途径或几种污染物同时对人体健康造成危害时,风险的表达则是各个不同途径或污染物的风险之和。一般来说,在风险评价理论中对于非致癌效应使用风险指数来表达,对于致癌效应使用致癌风险来表达。

##### D.4.1 非致癌风险表征

对于非致癌效应,可以通过计算危害指数反映污染物的风险。对于某种暴露途径或某种污染物,一般用危害熵(Hazard Quotient)来表示,其含义可用下面的公式计算:

$$HQ = I/RfD \dots\dots\dots (D.7)$$

式中:

$I$ ——某种暴露途径或某种污染物摄入量或暴露水平(Intake or Exposure level);

$RfD$ ——相应污染物的参考剂量(Reference Dose)。

危害指数HI(Hazard Index)是危害熵的累加,表达了总的发病风险的尺度,其含义可用下面的公式计算:

$$HI = \sum HQ \dots\dots\dots (D.8)$$

式中:

当  $I > RfD$ , 即  $HI > 1$  时,就有发生疾病的风险,而且在影响存在的情况下,  $HI$  越显著,发病风险就越大。

##### D.4.2 致癌风险表征

对于没有阈值的化学物,则需要计算人群危险性,即致癌作用强度×摄入量,即评价根据摄入量估计出所增加的癌症病例数是否是可以接受的(不构成危险)或不可接受的(构成危险)。表述这种化合物的致癌效应,风险以平均寿命(70 y)中发生癌症的概率来表示:

$$R = CDI \times SF \dots\dots\dots (D.9)$$

式中:

$R$  (risk) ——致癌风险;

$CDI$  (chronic daily intake) ——慢性日摄入量,单位为  $mg \cdot kg^{-1} \cdot d^{-1}$ ;

$SF$  (Slope Factor) ——暴露量与反应率之间的比例系数,可以理解为单元剂量存在的风险,单位为  $(mg/kg/d)^{-1}$ 。

## D.5 不确定性分析

不确定性分析是风险评价的重要组成部分，这是由风险评价各个计算层次固有的不确定性决定的，包括暴露和毒性评价应用到的大量假设。进行风险评价的不确定性分析，可以了解风险评价数据来源的方式和可靠程度，从而提高风险评价结果的可靠性，为风险管理的决策提供更加合理的依据。由于环境风险评价的不确定性因素很多，因此识别对不确定性有很大贡献的有关变量和假设相比精确地定量化风险评价中不确定性的程度显得更为重要。风险评价中不确定性主要有三方面来源：

- a) 在取样数据和毒性信息的基础上，进行描述暴露和风险的初始污染物的选择；
- b) 各种污染物和暴露方式的暴露评价；
- c) 用来描述风险的污染物毒性值。

附 录 E  
(资料性附录)

污染场地土壤、水样品测试指标筛选范围

污染场地的土壤、水等样品测试指标应根据企业污染物类型确定，表E.1给出了指标测试选择范围。

表E.1 污染场地生态地球化学评价的土壤、水样测试指标

类 型	土 壤		水		
	必测指标	选测指标	必测指标	选测指标	
化学工业	pH, 氰, 酚, As, 全 Hg, 烷基 Hg, Cd, Pb, 苯并(a)芘	多氯联苯, 六六六, DDT, 有机合成物, 植物营养元素	pH, 氰, 酚, As, 总 Hg, 烷基 Hg, Cd, Pb, Cr <sup>6+</sup> , 六六六, DDT, 多氯联苯, 苯并(a)芘, 有机合成物	Ni, Be, Ag, 溶解盐类, N, P, 悬 浮 物 , COD <sub>Mn</sub> , 总 α 放射性, 总 β 放射性	
轻工业	造纸	pH, As, Cd, Hg, Pb, 油类物质, 甲硫醇, 二甲基硫	亚硫酸盐, 植物营养元素	pH, COD <sub>Mn</sub> , 固体悬浮物, 油类物质, 甲硫醇, 二甲基硫, 可吸附有机卤化物	色素, 无机盐类, 纤维素, 木质素
	纺织印染工业	pH, As, Cd, Hg, Pb, 碱, 苯, 酚, 硫醇, Cr, Ni, Cu	植物营养元素	pH, 色度, COD <sub>Mn</sub> , 碱, 苯, 酚, 硫醇, Cr, Ni, Cu, 苯胺类, 氨氮, 二氧化氯	悬浮物, 浆料 (淀粉, 聚乙烯, 海藻酸钠)
	制革工业	pH, As, Cd, Hg, Pb, Cr <sup>3+</sup> , Cr <sup>6+</sup>	有机物、硫化物	pH, 色度, COD <sub>Mn</sub> , 有机物, 硫化物, Cr <sup>3+</sup>	
	食品工业	pH, As, Cd, Hg, Pb, Cr, Ni, Cu, 有机污染物, 含氮有机物	植物营养元素	pH, DDT, 六六六, 氨氮, 总磷, 悬浮物, 多氯联苯, 含氮有机物, As, Cd, Hg, Pb	食品添加剂, 脂肪, 蛋白质, 淀粉, 溶解在水中的糖, 酸, 碱, 盐类
煤炭工业	pH, F, As, Se, Hg, Cr, Cl, Pb, Cd, Mn, V, U, Th	Mo, B, Ni, Be, P, Cu, Zn, Ba, Co, Sb, Sn, Tl, 油类污染物	pH, COD <sub>Mn</sub> , Hg, Cd, Cr, Cr <sup>6+</sup> , Pb, As, Zn, Fe, Mn, 氟化物, 悬浮物, 石油类	总 α 放射性, 总 β 放射性	

表E.1 污染场地生态地球化学评价的土壤、水样测试指标（续）

工业企业类型	土壤		水系（地表水和地下水）	
	必测指标	选测指标	必测指标	选测指标
石油工业	pH, F, As, Se, Hg, Cr, Cl, Pb, Cd, 石油类污染物	植物营养元素	pH, COD <sub>Mn</sub> , 石油类, 酚, 丙酮, 芳烃, 氢氧化钠, 硫化物	溶解盐类
冶金工业	pH, F, As, Se, Hg, Cr, Cl, Pb, Cd, 氰化物, 氯化物, 氟化物, Zn, 油类污染物	植物营养元素	pH, 油、悬浮物, 酚, 氰, 硫化氰酸盐, 焦油, 氟化物, 硫酸, Zn, Sn, Ni, Cr	氧化铁, 石灰, 钾盐
炼油厂	pH, F, As, Se, Hg, Cr, Cl, Pb, Cd, 石油类污染物	植物营养元素	pH, COD <sub>Mn</sub> , 石油类, 酚, 丙酮, 芳烃, 氢氧化钠, 硫化物	溶解盐类
焦化厂	pH, F, As, Se, Hg, Cr, Cl, Pb, Cd, 氰化物, 氯化物, Zn	植物营养元素	pH, 酚、氨、硫化物, 氰化物, 焦油, 吡啶	
煤气厂	pH, F, As, Se, Hg, Cr, Cl, Pb, Cd, Mn, V, U, Th	Mo, B, Ni, Be, P, Cu, Zn, Ba, Co, Sb, Sn, Tl, 油类污染物	pH, COD <sub>Mn</sub> , Hg, Cd, Cr, Cr <sup>6+</sup> , Pb, As, Zn, Fe, Mn, 氟化物, 悬浮物, 石油类	总 $\alpha$ 放射性, 总 $\beta$ 放射性
钢铁工业	pH, F, As, Se, Hg, Cr, Cl, Pb, Cd, 氰化物, 氯化物, Zn, 油类污染物	植物营养元素	pH, COD <sub>Mn</sub> , 悬浮物, 挥发酚, 氰化物, 氯化物, 油类, 总硝基化合物, Cr <sup>6+</sup> , Zn, 氨氮, As, Fe, Mn, 氟化物, 悬浮物, 石油类	
农药厂	pH, DDT, 六六六, 多氯联苯, 多环芳烃艾氏剂、氯丹、滴滴涕、狄氏剂、异狄氏剂、七氯、灭蚁灵、毒杀芬、六氯苯、多氯联苯、二恶英、呋喃等持久性有机污染物 (POPs), F, As, Se, Hg, Cr, Cl, Pb, Cd	植物营养元素	pH, 有机污染物, F, As, Se, Hg, Cr, Cl, Pb, Cd	总 $\alpha$ 放射性, 总 $\beta$ 放射性

表E.1 污染场地生态地球化学评价的土壤、水样测试指标 (续)

工业企业类型	土壤		水系 (地表水和地下水)	
	必测指标	选测指标	必测指标	选测指标
医疗机构	pH, F, As, Se, Hg, Cr, Cl, Pb, Cd, Ag, 氰化物, 氯化物, Zn, 有机污染物	植物营养元素	粪大肠菌群数, 肠道致病菌, 肠道病毒, 结核杆菌, pH, COD <sub>Mn</sub> , 悬浮物, 氨氮, 挥发酚, 氰化物, Hg, Cd, Cr, Cr <sup>6+</sup> , As, Pb, Ag, 总余氯	石油类, 阴离子表面活性剂, 色度, 总α放射性, 总β放射性, 动植物油
城市污水处理厂	pH, F, As, Se, Hg, Cr, Cl, Pb, Cd, Ag, 氰化物, 氯化物, Zn, 有机污染物	植物营养元素	pH, COD <sub>Mn</sub> , 悬浮物, 石油类, 氨氮, 色度, 类大肠菌群数, Hg, 烷基Hg, Cd, Cr, Cr <sup>6+</sup> , Pb, As, Se	阴离子表面活性剂, Ni, Be, Ag, Cu, Mn, 苯并(a)芘, 氰化物, 苯胺类, 总硝基化合物, 可吸附有机卤化物, 苯类
肉类加工厂	pH, F, As, Se, Hg, Cr, Cl, Pb, Cd, Ag, Zn	植物营养元素, 有机污染物	pH, COD <sub>Mn</sub> , 动植物油, 氨氮, 大肠菌群数	有机类污染物
电子工业	pH, F, As, Se, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Al, Zn	Mo, Mn, Fe, Pt, Ni, 植物营养元素, 油类	pH, COD <sub>Mn</sub> , 悬浮物, 油类, Pb, Cl <sup>-</sup> , Cr <sup>6+</sup>	
其他工业及企业旧址	pH, F, Se, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn	植物营养元素, 有机污染物		
<p>注1: 植物营养元素指N、P、K、B、Mo、Mn、Cu、Zn、Fe、Si、Ca、Mg等营养元素;</p> <p>注2: 土壤样品可选测阳离子交换量(CEC)、粘粒、容重、有机碳、质地等指标;</p> <p>注3: 若污染场地将来规划为农用地, 可选测营养元素有效态指标; As、Cd、Cr、Hg、Pb、Ni等重金属元素的相态指标;</p> <p>注4: 工厂污染物不明确的, 地下水选测元素和指标有: 总硬度(以CaCO<sub>3</sub>计)、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、Fe、Mn、Cu、Zn、Co、挥发性酚类(以苯酚计)、高锰酸盐指数、硝酸盐(以N计)、亚硝酸盐、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)、氟化物、氰化物、Hg、As<sup>3+</sup>、Se、Cd、Cr<sup>6+</sup>、Pb、Be、Ba、Ni、滴滴涕、六六六、总大肠菌群、细菌总数、总α放射性、总β放射性等。</p>				

附 录 F  
(资料性附录)  
美国 EPA 通用土壤污染物筛选值

在生态风险评价时，可参照表F.1的通用土壤污染物筛选值进行判别。

表F.1 美国 EPA 给出的通用土壤污染物筛选值

CAS No.	化学物质	土壤 mg/kg				地下水 mg/L		
		居住	备注	工业	备注	基于地下水保护	饮用水	备注
100-41-4	乙苯	5.40E+00	c	2.70E+01	c	1.70E-03	1.50E+00	c
100-42-5	苯乙烯	6.30E+03	ns	3.60E+04	ns	1.80E+00	1.60E+03	n
1024-57-3	环氧七氯	5.30E-02	c <sup>a</sup>	1.90E-01	c <sup>a</sup>	1.50E-04	7.40E-03	c <sup>a</sup>
105-67-9	2,4-二甲基苯酚	1.20E+03	n	1.20E+04	n	8.60E-01	7.30E+02	n
106-42-3	对二甲苯	3.40E+03	ns	1.70E+04	ns	1.20E+00	1.20E+03	n
106-46-7	1,4-二氯苯	2.40E+00	c	1.20E+01	c	4.10E-04	4.30E-01	c
106-47-8	对氯苯胺	2.40E+00	c	8.60E+00	c	1.40E-04	3.40E-01	c
107-06-2	1,2-二氯乙烷	4.30E-01	c	2.20E+00	c	4.20E-05	1.50E-01	c
108-05-4	乙酸乙烯酯	9.70E+02	n	4.10E+03	ns	8.80E-02	4.10E+02	n
108-38-3	间二甲苯	3.40E+03	ns	1.70E+04	ns	1.20E+00	1.20E+03	n
108-88-3	甲苯	5.00E+03	ns	4.50E+04	ns	1.60E+00	2.30E+03	n
108-90-7	氯苯	2.90E+02	n	1.40E+03	ns	6.20E-02	9.10E+01	n
108-95-2	苯酚	1.80E+04	n	1.80E+05	nm	6.30E+00	1.10E+04	n
111-44-4	双(2-氯乙基)醚	2.10E-01	c	1.00E+00	c	3.10E-06	1.20E-02	c
115-29-7	硫丹	3.70E+02	n	3.70E+03	n	3.00E+00	2.20E+02	n
117-81-7	邻苯二甲酸二辛酯	3.50E+01	c <sup>a</sup>	1.20E+02	c	1.10E+00	4.80E+00	c
118-74-1	六氯苯	3.00E-01	c	1.10E+00	c	5.30E-04	4.20E-02	c
120-12-7	蒽	1.70E+04	n	1.70E+05	nm	3.60E+02	1.10E+04	n
120-82-1	1,2,4-三氯苯	2.20E+01	c <sup>b</sup>	9.90E+01	c <sup>b</sup>	6.80E-03	2.30E+00	c <sup>b</sup>
120-83-2	2,4-二氯苯酚	1.80E+02	n	1.80E+03	n	1.30E-01	1.10E+02	n
121-14-2	2,4-二硝基甲苯	1.60E+00	c <sup>a</sup>	5.50E+00	c	2.90E-04	2.20E-01	c
124-48-1	二溴氯甲烷	6.80E-01	c	3.30E+00	c	3.90E-05	1.50E-01	c
127-18-4	四氯乙烯	5.50E-01	c	2.60E+00	c	4.90E-05	1.10E-01	c
12789-03-6	氯丹	1.60E+00	c <sup>a</sup>	6.50E+00	c <sup>a</sup>	1.30E-02	1.90E-01	c <sup>a</sup>
129-00-0	茈	1.70E+03	n	1.70E+04	n	1.20E+02	1.10E+03	n
14797-55-8	硝酸盐	1.30E+05	nm	1.60E+06	nm		5.80E+04	n
14797-65-0	亚硝酸盐	7.80E+03	n	1.00E+05	nm		3.70E+03	n
156-59-2	顺-1,2-二氯乙烯	7.80E+02	n	1.00E+04	ns	1.10E-01	3.70E+02	n
156-60-5	反-1,2-二氯乙烯	1.50E+02	n	6.90E+02	n	3.10E-02	1.10E+02	n

表F.1 美国EPS给出的通用土壤污染物筛选值(续)

CAS No.	化学物质	土壤 mg/kg				地下水 mg/L		
		居住	备注	工业	备注	基于地下水保护	饮用水	备注
16065-83-1	铬(III)(不溶解)	1.20E+05	nm	1.50E+06	nm	9.90E+07	5.50E+04	n
16984-48-8	氟化物	3.10E+03	n	4.10E+04	n		1.50E+03	n
18540-29-9	铬(VI)	2.90E-01	c	5.60E+00	c	8.30E-04	4.30E-02	c
1957-12-5	氰化物(氰根离子)	1.60E+03	n	2.00E+04	n	7.40E+00	7.30E+02	n
193-39-5	茚并[1,2,3-cd]芘	1.50E-01	c	2.10E+00	c	1.20E-01	2.90E-02	c
205-99-2	苯并[b]荧蒽	1.50E-01	c	2.10E+00	c	3.50E-02	2.90E-02	c
206-44-0	荧蒽	2.30E+03	n	2.20E+04	n	1.60E+02	1.50E+03	n
207-08-9	苯并[k]蒽	1.50E+00	c	2.10E+01	c	3.50E-01	2.90E-01	c
218-01-9	屈	1.50E+01	c	2.10E+02	c	1.10E+00	2.90E+00	c
22967-92-6	甲基汞	7.80E+00	n	1.00E+02	n	-	3.70E+00	n
309-00-2	艾氏剂	2.90E-02	c <sup>a</sup>	1.00E-01	c	6.50E-04	4.00E-03	c
319-84-6	$\alpha$ -六氯环己烷	7.70E-02	c	2.70E-01	c	6.20E-05	1.10E-02	c
319-85-7	$\beta$ -六氯环己烷	2.70E-01	c	9.60E-01	c	2.20E-04	3.70E-02	c
50-29-3	滴滴涕	1.70E+00	c <sup>a</sup>	7.00E+00	c <sup>a</sup>	6.70E-02	2.00E-01	c <sup>a</sup>
50-32-8	苯并[a]芘	1.50E-02	c	2.10E-01	c	3.50E-03	2.90E-03	c
51-28-5	2,4-二硝基酚	1.20E+02	n	1.20E+03	n	8.20E-02	7.30E+01	n
53-70-3	二苯并[a, h]蒽	1.50E-02	c	2.10E-01	c	1.10E-02	2.90E-03	c
542-75-6	1,3-二氯丙烯	1.70E+00	c <sup>a</sup>	8.10E+00	c <sup>a</sup>	1.50E-04	4.30E-01	c <sup>a</sup>
56-23-5	四氯化碳	6.10E-01	c	3.00E+00	c	1.70E-04	4.40E-01	c
56-55-3	苯并[a]蒽	1.50E-01	c	2.10E+00	c	1.00E-02	2.90E-02	c
58-89-9	$\gamma$ -六氯环己烷(林丹)	5.20E-01	c <sup>a</sup>	2.10E+00	c	3.60E-04	6.10E-02	c
60-57-1	狄氏剂	3.00E-02	c	1.10E-01	c	1.70E-04	4.20E-03	c
606-20-2	2,6-二硝基甲苯	6.10E+01	n	6.20E+02	n	5.00E-02	3.70E+01	n
621-64-7	N-亚硝基-N-正丙胺	6.90E-02	c	2.50E-01	c	7.20E-06	9.60E-03	c
65-85-0	苯甲酸	2.40E+05	nm	2.50E+06	nm	3.40E+01	1.50E+05	n
67-64-1	丙酮	6.10E+04	n	6.30E+05	nms	4.50E+00	2.20E+04	n
67-66-3	氯仿	2.90E-01	c	1.50E+00	c	5.30E-05	1.90E-01	c
67-72-1	六氯乙烷	3.50E+01	c <sup>b</sup>	1.20E+02	c <sup>b</sup>	2.90E-03	4.80E+00	c <sup>b</sup>
71-36-3	正丁醇	6.10E+03	n	6.20E+04	n	7.60E-01	3.70E+03	n
71-43-2	苯	1.10E+00	c <sup>a</sup>	5.40E+00	c <sup>a</sup>	2.10E-04	4.10E-01	c
71-55-6	1,1,1-三氯乙烷	8.70E+03	ns	3.80E+04	ns	3.20E+00	9.10E+03	n
72-20-8	异狄氏剂	1.80E+01	n	1.80E+02	n	4.40E-01	1.10E+01	n
72-43-5	甲氧滴滴涕	3.10E+02	n	3.10E+03	n	9.90E+00	1.80E+02	n
72-54-8	滴滴滴	2.00E+00	c	7.20E+00	c	6.60E-02	2.80E-01	c
72-55-9	p,p'-滴滴伊	1.40E+00	c	5.10E+00	c	4.70E-02	2.00E-01	c
7429-90-5	铝	7.70E+04	n	9.90E+05	nm	5.50E+04	3.70E+04	n

表F.1 美国EPS给出的通用土壤污染物筛选值(续)

CAS No.	化学物质	土壤 mg/kg				地下水 mg/L		
		居住	备注	工业	备注	基于地下水保护	饮用水	备注
7439-89-6	铁	5.50E+04	n	7.20E+05	nm	6.40E+02	2.60E+04	n
7439-92-1	铅及化合物	4.00E+02	n	8.00E+02	n	-	-	
7439-96-5	锰(水)	1.80E+03	n	2.30E+04	n	5.70E+01	8.80E+02	n
7439-97-6	汞(元素)	5.60E+00	ns	3.40E+01	ns	3.00E-02	5.70E-01	n
7439-98-7	钼	3.90E+02	n	5.10E+03	n	3.70E+00	1.80E+02	n
7440-02-0	可溶镍盐	1.50E+03	n	2.00E+04	n	4.80E+01	7.30E+02	n
7440-22-4	银	3.90E+02	n	5.10E+03	n	1.60E+00	1.80E+02	n
7440-24-6	锶, 稳定态	4.70E+04	n	6.10E+05	nm	7.70E+02	2.20E+04	n
7440-31-5	锡	4.70E+04	n	6.10E+05	nm	5.50E+03	2.20E+04	n
7440-36-0	铈	3.10E+01	n	4.10E+02	n	6.60E-01	1.50E+01	n
7440-38-2	砷	3.90E-01	c <sup>a</sup>	1.60E+00	c	1.30E-03	4.50E-02	c
7440-39-3	钡	1.50E+04	n	1.90E+05	nm	3.00E+02	7.30E+03	n
7440-41-7	铍	1.60E+02	n	2.00E+03	n	5.80E+01	7.30E+01	n
7440-42-8	硼及硼酸盐	1.60E+04	n	2.00E+05	nm	2.30E+01	7.30E+03	n
7440-43-9	镉(饮食)	7.00E+01	n	8.00E+02	n			
7440-43-9	镉(水)					1.40E+00	1.80E+01	n
7440-48-4	钴	2.30E+01	n	3.00E+02	n	4.90E-01	1.10E+01	n
7440-50-8	铜	3.10E+03	n	4.10E+04	n	5.10E+01	1.50E+03	n
7440-62-2	金属钒	5.50E+00	n	7.20E+01	n	2.60E+00	2.60E+00	n
7440-66-6	金属锌	2.30E+04	n	3.10E+05	nm	6.80E+02	1.10E+04	n
7446-34-6	硫化硒	3.90E+02	n	5.10E+03	n	-	1.80E+02	n
74-83-9	溴甲烷	7.30E+00	n	3.20E+01	n	2.20E-03	8.70E+00	n
75-01-4	氯乙烯	6.00E-02	c	1.70E+00	c	5.60E-06	1.60E-02	c
75-09-2	二氯甲烷	1.10E+01	c	5.30E+01	c	1.20E-03	4.80E+00	c
75-15-0	二硫化碳	8.20E+02	ns	3.70E+03	ns	3.10E-01	1.00E+03	n
75-25-2	三溴甲烷	6.10E+01	c <sup>a</sup>	2.20E+02	c <sup>a</sup>	2.30E-03	8.50E+00	c <sup>a</sup>
75-27-4	二氯溴甲烷	2.70E-01	c	1.40E+00	c	3.20E-05	1.20E-01	c
75-34-3	1,1-二氯乙烷	3.30E+00	c	1.70E+01	c	6.90E-04	2.40E+00	c
75-35-4	1,1-二氯乙烯	2.40E+02	n	1.10E+03	n	1.20E-01	3.40E+02	n
7553-56-2	碘	7.80E+02	n	1.00E+04	n	-	3.70E+02	n
76-44-8	七氯	1.10E-01	c	3.80E-01	c	1.20E-03	1.50E-02	c
77-47-4	六氯环戊二烯	3.70E+02	n	3.70E+03	n	6.80E-01	2.20E+02	n
7782-49-2	硒	3.90E+02	n	5.10E+03	n	9.50E-01	1.80E+02	n
7782-50-5	氯	7.50E+03	n	9.10E+04	n	1.60E+00	3.70E+03	n
7783-00-8	亚硒酸	3.90E+02	n	5.10E+03	n	-	1.80E+02	n
7784-42-1	肿(砷化氢)	2.70E-01	n	3.60E+00	n	-	1.30E-01	n

表F.1 美国EPS给出的通用土壤污染物筛选值(续)

CAS No.	化学物质	土壤 mg/kg				地下水 mg/L		
		居住	备注	工业	备注	基于地下水保护	饮用水	备注
7790-98-9	高氯酸铵	5.50E+01	n	7.20E+02	n	-	2.60E+01	n
78-59-1	异氟尔酮	5.10E+02	c <sup>a</sup>	1.80E+03	c <sup>a</sup>	2.30E-02	7.10E+01	c
78-87-5	1,2-二氯丙烷	8.90E-01	c <sup>a</sup>	4.50E+00	c <sup>a</sup>	1.30E-04	3.90E-01	c <sup>a</sup>
79-00-5	1,1,2-三氯乙烷	1.10E+00	c	5.30E+00	c	7.80E-05	2.40E-01	c
79-01-6	三氯乙烯	2.80E+00	c	1.40E+01	c	7.20E-04	2.00E+00	c
79-34-5	1,1,2,2-四氯乙烷	5.60E-01	c	2.80E+00	c	2.60E-05	6.70E-02	c
8001-35-2	毒杀芬	4.40E-01	c	1.60E+00	c	9.40E-03	6.10E-02	c
84-66-2	邻苯二乙酸二乙酯	4.90E+04	n	4.90E+05	nm	1.20E+01	2.90E+04	n
84-74-2	酞酸二丁酯	6.10E+03	n	6.20E+04	n	9.20E+00	3.70E+03	n
85-68-7	邻苯二甲酸丁苄酯	2.60E+02	c <sup>a</sup>	9.10E+02	c	5.10E-01	3.50E+01	c
86-30-6	N-亚硝基二苯胺	9.90E+01	c	3.50E+02	c	7.50E-02	1.40E+01	c
86-73-7	~苊	2.30E+03	n	2.20E+04	n	2.70E+01	1.50E+03	n
87-68-3	六氯丁二烯	6.20E+00	c <sup>b</sup>	2.20E+01	c <sup>a</sup>	1.70E-03	8.60E-01	c <sup>a</sup>
87-86-5	五氯苯酚	3.00E+00	c	9.00E+00	c	5.70E-03	5.60E-01	c
88-06-2	2,4,6-三氯苯酚	4.40E+01	c <sup>b</sup>	1.60E+02	c <sup>b</sup>	2.30E-02	6.10E+00	c <sup>b</sup>
91-20-3	~萘	3.60E+00	c <sup>a</sup>	1.80E+01	c <sup>a</sup>	4.70E-04	1.40E-01	c <sup>a</sup>
91-94-1	3,3'-二氯联苯胺	1.10E+00	c	3.80E+00	c	9.80E-04	1.50E-01	c
95-47-6	邻二甲苯	3.80E+03	ns	1.90E+04	ns	1.20E+00	1.20E+03	n
95-48-7	邻甲酚	3.10E+03	n	3.10E+04	n	1.50E+00	1.80E+03	n
95-50-1	1,2-二氯苯	1.90E+03	ns	9.80E+03	ns	3.60E-01	3.70E+02	n
95-57-8	2-氯苯酚	3.90E+02	n	5.10E+03	n	1.50E-01	1.80E+02	n
95-95-4	2,4,5-三氯苯酚	6.10E+03	n	6.20E+04	n	1.40E+01	3.70E+03	n
98-07-7	三氯甲苯	4.90E-02	c	2.20E-01	c	1.10E-05	5.20E-03	c
98-95-3	硝基苯	4.8E+00	c <sup>a</sup>	2.4E+01	c <sup>a</sup>	7.9E-05	1.2E-01	c

c = 基于致癌风险计算得到;  
n = 基于非致癌危害熵计算得到;  
m = 浓度可能超出最大限值;  
s = 浓度可能超出最高溶解水平。

CAS No.是美国化学文摘服务社 (Chemical Abstracts Service, CAS) 为化学物质制订的登记号, 该号是检索有多个名称的化学物质信息的重要工具。是某种物质(化合物、高分子材料、生物序列(Biological sequences)、混合物或合金的唯一的数字识别号码。

<sup>a</sup> 基于非致癌危害熵计算的筛选值< 100 倍基于致癌风险计算的筛选值;  
<sup>b</sup> 基于非致癌危害熵计算的筛选值< 10 倍基于致癌风险计算的筛选值。

附录 G  
(资料性附录)  
场地健康风险计算方法

G.1 暴露点浓度

场地风险评价中，一般用污染介质采样浓度来反映场地土壤和地下水的总体污染水平。即在土壤和地下水采样样本污染物浓度服从正态分布时，风险水平计算时采用95%置信水平上限值作为暴露点浓度进行风险计算。

总体的正态均值即场地污染真实评价值 在置信水平为1-a下的置信上限可由式(G.1)计算获得：

$$\bar{X} + t_a(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (G.1)$$

式中：

$\bar{X}$  —— 样本污染物平均值；

$t_a(n-1)$  —— t分布函数，可查统计手册中的t 分布分位数表；

n —— 样本容量，即样品数；

a —— 总体均值大于置信上限的概率，当置信水平为95%时， a取0.05；

s —— 样本标准差。

标准样本s可由式 (G.2) 计算：

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{X})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (G.2)$$

式中：

x —— 样本污染物实测值。

G.2 毒性参数

风险评价中常见污染物的致癌斜率推荐值见表G.1。

G.3 挥发性因子计算

根据扩散模型的不同，污染场地土壤和地下水中，挥发性有机污染物扩散进入空气中挥发性因子的计算主要分为五种情况，即：由地表污染土壤（深度< 1 m）挥发至室外空气、由深层土壤挥发至室外空气、由深层土壤经建筑基础缝隙挥发至封闭的室内空间、由地下水挥发至室外空气和由地下水经建筑基础缝隙挥发至封闭的室内空间。具体污染场地应根据场地概念模型确定的暴露途径计算可能存在的挥发性因子，每种途径挥发性因子的计算公式如下。

a) 地表土壤中物质至周围空气的挥发性因子  $VF_{ss}$  可由下面公式计算：

$$VF_{ss} = \frac{\rho_s \times A}{U_{air} \times W \times \delta_{air}} \sqrt{\frac{4 \times D_s^{eff} H}{\pi \times \tau \times (\theta_{ws} + K_s + \rho_s + H\theta_{as})}} \dots\dots\dots (G.3)$$

$$\text{或者 } VF_{ss} = \frac{W \times \rho_s \times d}{U_{air} \times \delta_{air} \times \tau} \times 10^3 \dots\dots\dots (G.4)$$

二者选择其中的低值，式中：

- $\rho_s$ ——干土壤容重，单位为克每立方厘米（g/cm<sup>3</sup>）；
- $W$ ——平行于风向或地下水流向的污染带宽度，单位为厘米（cm）；
- $U_{air}$ ——呼吸带（混合带）风速，单位为厘米每秒（cm/s）；
- $\delta_{air}$ ——周边混合带高度，单位为厘米（cm）；
- $H$ ——有效的亨利常数系数，cm<sup>3</sup>(水)/cm<sup>3</sup>(空气)；
- $\pi$ ——常数，3.14159；
- $\tau$ ——挥发性物质释放时间，单位为秒（s）；
- $\theta_{as}$ ——包气带土壤中空气的体积含量，cm<sup>3</sup>(空气)/cm<sup>3</sup>(土壤)；
- $\theta_{ws}$ ——包气带土壤中水的体积含量，cm<sup>3</sup>(水)/cm<sup>3</sup>(空气)；
- $K_s$ ——土壤-水吸附分配系数，g(水)/g(土壤)， $K_s = K_{oc} \times f_{oc}$ ；
- $d$ ——地表污染土壤的深度，单位为厘米（cm）；

$D_s^{eff}$  ——包气带土壤的有效扩散系数，cm<sup>2</sup>/s；可通过式（G.5）计算：

$$D_s^{eff} = D^{air} \times \frac{\theta_{as}^{3.33}}{\theta_T^2} + \frac{D^{wat}}{H} \times \frac{\theta_{ws}^{3.33}}{\theta_T^2} \dots\dots\dots (G.5)$$

式中：

- $D^{air}$ ——物质在空气中的扩散系数，单位为平方厘米每秒（cm<sup>2</sup>/s）；
- $\theta_T$ ——包气带土壤总孔隙度，cm<sup>3</sup>(孔隙)/cm<sup>3</sup>(土壤)；
- $D^{wat}$ ——物质在水中的扩散系数，单位为平方厘米每秒（cm<sup>2</sup>/s）。

b) 深层土壤中物质至周围空气的挥发性因子  $VF_{samb}$  可通过下面公式计算：

$$VF_{samb} = \frac{H \times \rho_s}{(\theta_{ws} + k_s \times \rho_s + H \times \theta_{as}) \times (1 + (U_{air} \times \delta_{air} \times L_s) / (D_s^{eff} \times W))} \dots\dots\dots (G.6)$$

如果已知深层污染土壤的深度，也可用式（G.7）计算

$$VF_{samb} = \frac{W \times \rho_s \times d_s}{U_{air} \times \delta_{air} \times \tau} \times 10^3 \dots\dots\dots (G.7)$$

二者选择其中的低值，式中：

- $L_s$ ——地表至地下污染土壤的距离，单位为厘米（cm）；
- $d_s$ ——地下污染土壤的厚度，单位厘米（cm）；
- 其他参数意义同上。

表G.1 常见污染物毒性参数

序号	污染物	参考剂量(RFD)mg/(kg·d)				参考浓度(RFC)mg/m <sup>3</sup>		致癌斜率(SF)(mg/(kg·d)) <sup>-1</sup>				单位致癌系数(URF)(μg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		是否致癌	皮肤吸收因子	
		经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源	经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源		数值	来源
1	萘	0.06	TX07	0.06	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	0.13	TX07
2	萘烯	0.06	TX07	0.06	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	0.13	TX07
3	丙酮	0.9	EPA-I	0.9	D2	0.59	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
4	氰化甲烷	0.032	TX07	0.032	D2	0.06	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0.8	TX07
5	丙烯酸铵	0.0002	EPA-I	0.0002	D2	-	-	4.5	EPA-I	4.5	D2	0.0013	EPA-I	是	0.5	TX07
6	艾氏剂	0.00003	EPA-I	0.00003	D2	-	-	17	EPA-I	17	D2	0.0049	EPA-I	是	0.5	TX07
7	氨	-	-	-	-	0.1	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0.01	TX07
8	蒽	0.3	EPA-I	0.3	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	0.13	TX07
9	锑	0.0004	EPA-I	0.00006	D2	0.0005	TX07	-	-	-	-	-	-	-	0.01	TX07
10	砷	0.0003	EPA-I	0.0003	D2	-	-	1.5	EPA-I	1.5	D2	0.0043	EPA-I	是	0.03	TX07
11	钡	0.2	EPA-I	0.014	D2	0.0005	TX07	-	-	-	-	-	-	-	0.01	TX07
12	苯	0.004	EPA-I	0.004	D2	0.03	EPA-I	0.055	EPA-I	0.055	D2	0.0000078	EPA-I	是	0.01	TX07
13	苯并(a)蒽	-	-	-	-	-	-	0.73	EPA-93	0.73	D2	0.000088	EPA-93	是	-	-
14	苯并(a)芘	-	-	-	-	-	-	7.3	EPA-I	7.3	D2	0.00088	EPA-N	是	0.00001	TX07
15	苯并(a)荧蒽	-	-	-	-	-	-	0.73	EPA-93	0.73	D2	0.000088	EPA-93	是	-	-
16	苯并(g,h,i)芘	0.03	TX07	0.03	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	-	-
17	苯并(k)荧蒽	-	-	-	-	-	-	0.073	EPA-93	0.073	D2	0.0000088	EPA-93	是	-	-
18	苯甲酸	4	EPA-I	4	D2	0.005	TX07	-	-	-	-	-	-	否	-	-
19	铍	0.002	EPA-I	0.000014	D2	0.00002	EPA-I	-	-	-	-	0.0024	EPA-I	是	0.002	TX07

表 G.1 常见污染物毒性参数 (续)

序号	污染物	参考剂量(RFD)mg/(kg·d)				参考浓度(RFC)mg/m <sup>3</sup>		致癌斜率(SF)(mg/(kg·d)) <sup>-1</sup>				单位致癌系数(URF)(μg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		是否致癌	皮肤吸收因子	
		经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源	经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源		数值	来源
20	二氯溴甲烷	0.02	EPA-I	0.02	D2	-	-	0.062	EPA-I	0.062	D2	-	-	是	0.006	TX07
21	三溴甲烷	0.02	EPA-I	0.02	D2	-	-	0.0079	EPA-I	0.0079	D2	0.0000011	EPA-I	是	-	-
22	正丁醇	0.1	EPA-I	0.1	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
23	镉	0.001/0.0005	EPA-I	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0018	EPA-I	是	0.005	TX07
24	二硫化碳	0.1	EPA-I	0.1	D2	0.7	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	-	-
25	四氯化碳	0.0007	EPA-I	0.0007	D2	0.7	EPA-I	-	-	-	-	-	-	是	0	TX07
26	氯苯	0.02	EPA-I	0.0062	D2	0.05	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.3	TX07
27	氯乙烯	0.4	EPA-N	0.4	D2	10	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
28	氯仿	0.01	EPA-I	0.002	D2	0.045	TX07	-	-	-	-	0.000023	EPA-I	是	0.06	TX07
29	氯甲	-	-	-	-	0.09	EPA-I	0.013	EPA-H	0.013	D2	0.0000018	EPA-H	是	0	TX07
30	2-氯酚	0.005	EPA-I	0.005	D2	0.03	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
31	三价铬	1.5	EPA-I	0.0192	D2	0.0001	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.01	TX07
32	六价铬	0.003	EPA-I	0.000075	D2	0.0001	TX07	-	-	-	-	-	-	是	0.01	TX07
33	屈	-	-	-	-	-	-	0.0073	EPA-93	0.0073	D2	0.00000088	EPA-93	是	0.13	TX07
34	铜	0.04	EPA-N	0.04	D2	0.001	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.01	TX07
35	间甲酚	0.05	EPA-I	0.05	D2	0.01	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.1	TX07
36	2-甲酚	0.05	EPA-I	0.05	D2	0.01	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.1	TX07
37	对甲酚	0.05	TX07	0.05	D2	0.01	YX07	-	-	-	-	-	-	否	0.1	TX07
38	氰化物	0.02	EPA-I	0.02	D2	0.005	YX07	-	-	-	-	-	-	否	0.01	TX07
39	DDT	0.0005	EPA-I	0.0005	D2	-	-	0.34	EPA-I	0.34	D2	0.000097	EPA-I	是	0.03	TX07

表 G.1 常见污染物毒性参数 (续)

序号	污染物	参考剂量(RFD)mg/(kg·d)				参考浓度(RFC)mg/m <sup>3</sup>		致癌斜率(SF)(mg/(kg·d)) <sup>-1</sup>				单位致癌系数(URF)(μg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		是否致癌	皮肤吸收因子	
		经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源	经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源		数值	来源
40	二苯并(a,h)蒽	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	是	0.13	TX07
41	二溴氯甲烷	0.02	EPA-I	0.02	D2	-	-	0.084	EPA-I	0.084	D2	-	-	是	0	TX07
42	1,2-二氯苯	0.09	EPA-I	0.09	D2	0.03	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0.8	TX07
43	间二氯苯	0.03	EPA-I	0.03	D2	0.008	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0.8	TX07
44	1,4-二氯苯	-	-	-	-	0.8	EPA-I	0.024	EPA-H	0.024	D2	-	-	是	0.9	TX07
45	二氯二氟甲烷	0.2	EPA-I	0.046	D2	4.95	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
46	1,1-二氯乙烷	0.2	TX07	0.2	D2	0.4	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
47	1,2-二氯乙烷	-	-	-	-	2.42350 4327	EPA-I	0.091	EPA-I	0.091	D2	0.000026	EPA-I	是	0	TX07
48	顺-1,2-二氯乙烯	0.01	EPA-H	0.01	D2	0.795	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
49	反-1,2-二氯乙烯	0.02	EPA-I	0.02	D2	0.793	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
50	狄氏剂	0.00005	EPA-I	0.00005	D2	-	-	16	EPA-I	16	D2	0.0046	EPA-I	是	0	TX07
51	2,4-二甲基苯酚	0.02	EPA-I	0.02	D2	0.0165	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.1	TX07

表 G.1 常见污染物毒性参数 (续)

序号	污染物	参考剂量(RFD)mg/(kg·d)				参考浓度(RFC)mg/m <sup>3</sup>		致癌斜率(SF)(mg/(kg·d)) <sup>-1</sup>				单位致癌系数(URF)(μg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		是否致癌	皮肤吸收因子	
		经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源	经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源		数值	来源
52	二噁英(2,3,7,8-四氯二苯并对二噁英)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	是	0.03	TX07
53	乙苯	0.1	EPA-I	0.1	D2	1	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0.3	TX07
54	乙二醇	2	EPA-I	2	D2	0.026	TX07	-	-	-	-	-	-	否	-	-
55	荧蒽	0.04	EPA-I	0.04	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	0.13	TX07
56	芴	0.04	EPA-I	0.04	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	0.13	TX07
57	甲醛	0.2	EPA-I	0.2	D2	0.008045	EPA-I	-	-	-	-	0.000013	EPA-I	是	0	TX07
58	六氯苯	0.0008	EPA-I	0.0008	D2	-	-	1.6	EPA-I	1.6	D2	0.00046	EPA-I	是	0.1	TX07
59	正己烷	11	TX07	11	D2	40	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.8	TX07
60	茚并(1,2,3-cd)芘	-	-	-	-	-	-	0.73	EPA-93	73	D2	0.000088	EPA-93	是	0.13	TX07
61	林丹	0.0003	EPA-I	0.0003	D2	0.0005	TX07	1.3	EPA-H	1.3	D2	-	-	是	0.04	TX07
62	锰	0.14/0.047	EPA-I	-	-	0.00005	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0.01	TX07
63	汞	0.0003	For HgCl	0.000024	D2	0.0003	EPA-I	-	-	-	-	-	-	是	0.01	TX07
64	甲醇	0.5	EPA-I	0.5	D2	0.262	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
65	甲基环己烷	5	TX07	5	D2	3	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
66	2-丁酮	0.6	EPA-I	0.6	D2	5	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
67	二氯甲烷	0.06	EPA-I	0.06	D2	3	EPA-I	0.0075	EPA-I	0.0075	D2	0.00000047	EPA-I	是	0	TX07
68	钼	0.005	EPA-I	0.0019	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	0.01	TX07

表 G.1 常见污染物毒性参数 (续)

序号	污染物	参考剂量(RFD)mg/(kg·d)				参考浓度(RFC)mg/m <sup>3</sup>		致癌斜率(SF)(mg/(kg·d)) <sup>-1</sup>				单位致癌系数(URF)(μg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		是否致癌	皮肤吸收因子	
		经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源	经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源		数值	来源
69	萘	0.02	EPA-I	0.02	D2	0.003	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0.13	TX07
70	镍	0.02	EPA-I	0.0008	D2	0.00009	EPA-I	-	-	-	-	0.00048	EPA-I	是	0.01	TX07
71	N-二甲基亚硝铵	0.000008	TX07	0.000008	D2	-	-	51	EPA-I	51	D2	0.014	EPA-I	是	0	TX07
72	多氯联苯	0.00002	EPA-I	0.00002	D2	-	-	2	EPA-I	2	D2	0.00057	EPA-I	是	0.1	TX07
73	五氯苯酚	0.03	EPA-I	0.03	D2	0.0005	TX07	0.12	EPA-I	0.12	D2	-	-	是	0.25	TX07
74	邻苯二甲酸二辛脂	0.02	EPA-I	0.0038	D2	-	-	0.0014	EPA-I	0.07368 4211	D2	-	-	是	0.5	TX07
75	邻苯二甲酸丁苄脂	0.2	EPA-I	0.2	D2	0.005	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.5	TX07
76	邻苯二甲酸二乙脂	0.8	EPA-I	0.8	D2	0.005	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.5	TX07
77	邻苯二甲酸正二辛脂	0.04	TX07	0.04	D2	0.005	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.1	TX07
78	砒	0.03	EPA-I	0.03	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	0.13	TX07
79	硒	0.005	EPA-I	0.005	D2	0.0002	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.01	TX07
80	银	0.005	EPA-I	0.0002	D2	0.00001	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.01	TX07
81	苯乙烯	0.2	EPA-I	0.2	D2	1	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
82	1,1,2,2,-四氯乙烷	0.06	TX07	0.06	D2	-	-	0.2	EPA-I	0.2	D2	0.000058	EPA-I	是	0	TX07
83	四氯乙烯	0.01	EPA-I	0.01	D2	0.27074 9388	EPA-I	0.052	EPA-N	0.052	D2	0.00000058	EPA-N	是	0	TX07
84	铊	0.00008	EPA-I	0.00008	D2	0.00001	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.01	TX07
85	甲苯	0.08	EPA-I	0.08	D2	5	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07

表 G.1 常见污染物毒性参数 (续)

序号	污染物	参考剂量(RFD)mg/(kg·d)				参考浓度(RFC)mg/m <sup>3</sup>		致癌斜率(SF)(mg/(kg·d)) <sup>-1</sup>				单位致癌系数(URF)(μg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		是否致癌	皮肤吸收因子	
		经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源	经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源		数值	来源
86	总石油烃-直链烃>C <sub>5</sub> -C <sub>6</sub>	0.06	TX07	0.06	D2	18	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
87	总石油烃-直链烃>C <sub>6</sub> -C <sub>8</sub>	0.06	TX07	0.06	D2	0.2	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
88	总石油烃-直链烃>C <sub>8</sub> -C <sub>10</sub>	0.1	TPH	0.1	D2	0.2	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
89	总石油烃-直链烃>C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub>	0.1	TPH	0.1	D2	0.2	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
90	总石油烃-直链烃>C <sub>12</sub> -C <sub>16</sub>	0.1	TPH	0.1	D2	0.2	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.1	TX07
91	总石油烃-直链烃>C <sub>16</sub> -C <sub>21</sub>	2	TPH	2	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	0.1	TX07
92	总石油烃-直链烃>C <sub>21</sub> -C <sub>34</sub>	2	TPH	2	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	0.1	TX07
93	总石油烃-芳香烃>C <sub>05</sub> -C <sub>07</sub>	0.001	EPA-I	0.004	D2	0.3	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0.1	TX07
94	总石油烃-芳香烃>C <sub>07</sub> -C <sub>08</sub>	0.1	TX07	0.1	D2	1	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
95	总石油烃-芳香烃>C <sub>08</sub> -C <sub>10</sub>	0.04	TPH	0.04	D2	0.2	T	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07

表 G.1 常见污染物毒性参数 (续)

序号	污染物	参考剂量(RFD)mg/(kg·d)				参考浓度(RFC)mg/m <sup>3</sup>		致癌斜率(SF)(mg/(kg·d)) <sup>-1</sup>				单位致癌系数(URF)(μg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>		是否致癌	皮肤吸收因子	
		经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源	经口	来源	经皮肤	来源	呼吸	来源		数值	来源
96	总石油烃-芳香烃>C <sub>10</sub> -C <sub>12</sub>	0.04	TPH	0.04	D2	0.2	T	-	-	-	-	-	-	否	0.1	TX07
97	总石油烃-芳香烃>C <sub>12</sub> -C <sub>16</sub>	0.04	TPH	0.04	D2	0.2	T	-	-	-	-	-	-	否	0.1	TX07
98	总石油烃-芳香烃>C <sub>16</sub> -C <sub>21</sub>	0.03	TPH	0.03	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	0.13	TX07
99	总石油烃-芳香烃>C <sub>21</sub> -C <sub>35</sub>	0.03	TPH	0.03	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	0.13	TX07
100	1,2,4-三氯苯	0.01	EPA-N	0.01	D2	0.004	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.1	TX07
101	1,1,1-三氯乙烷	0.02	EPA-N	0.02	D2	2.2	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
102	1,1,2-三氯乙烷	0.004	EPA-I	0.004	D2	-	-	0.057	EPA-I	0.057	D2	0.000016	EPA-I	是	0	TX07
103	三氯乙烯	0.004	EPA-N	0.006	D2	-	-	0.011	EPA-N	0.011	D2	0.0000017	EPA-N	是	0	TX07
104	氯氟甲烷	-	-	-	-	0.09	EPA-I	0.013	EPA-H	0.013	D2	0.0000018	EPA-H	否	0	TX07
105	钒	0.007	EPA-H	0.000182	D2	0.00005	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.01	TX07
106	氯乙烯	0.003	EPA-I	0.003	D2	0.01	EPA-I	1.5	EPA-I	1.5	D2	0.0000088	EPA-I	是	0	TX07
107	混合二甲苯	2	EPA-H	2	D2	0.1	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0.01	TX07
108	间二甲苯	2	EPA-H	2	D2	0.1	TX07	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
109	邻二甲苯	2	EPA-H	2	D2	0.1	EPA-I	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07
110	锌	0.3	EPA-I	0.06	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	否	0	TX07

c) 深层土壤中物质至封闭空间空气的挥发性因子  $VF_{seps}$  可通过下面公式计算:

如果  $Q_s=0$

$$VF_{seps} = \frac{[(H \times \rho_s)/(\theta_{ws} + k_s \times \rho_s + H \times \theta_{as})] \times [(D_s^{eff}/L_s)/ER \times L_B]}{1 + [(D_s^{eff}/L_s)/(ER \times L_B)] + [(D_s^{eff}/L_s)/(D_{crack}^{eff}/L_{crack} \times \eta)]} \dots\dots\dots (G. 8)$$

如果  $Q_s>0$

$$VF_{seps} = \frac{[(H \times \rho_s)/(\theta_{ws} + k_s \times \rho_s + H \times \theta_{as})] \times [(D_s^{eff}/L_s)/(ER \times L_B)] \times e^\xi}{e^\xi + [(D_s^{eff}/L_s)/(ER \times L_B)] + [(D_s^{eff}/L_s)/(Q_s/A_b)] \times (e^\xi - 1)} \dots\dots\dots (G. 9)$$

$$\text{或者 } VF_{seps} = \frac{\rho_s \times d_s}{L_B \times ER \times \tau} \dots\dots\dots (G. 10)$$

二者选择其中的低值, 式中:

$Q_s$ ——挥发性物质通过建筑底板进入封闭空间的体积流量, 单位为立方厘米每秒 ( $\text{cm}^3/\text{s}$ ); 可通过式 (G.11) 计算:

$$Q_s = \frac{2\pi \times \Delta p \times k_v \times X_{crack}}{\mu_{air} \ln[(2Z_{crack} \times X_{crack})/(A_b \times \eta)]} \dots\dots\dots (G. 11)$$

式中:

$\Delta p$ ——室内和室外的压差  $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s}^2)$ ;

$k_v$ ——土壤渗透系数, 单位为平方厘米 ( $\text{cm}^2$ );

$X_{crack}$ ——建筑底层内周长, 单位为厘米 ( $\text{cm}$ );

$\mu_{air}$ ——空气粘度, 单位为克每厘米秒 ( $\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s})$ );

$Z_{crack}$ ——建筑底板底层深度, 单位为厘米 ( $\text{cm}$ );

$A_b$ ——建筑基础底板面积, 单位为平方厘米 ( $\text{cm}^2$ );

$\eta$ ——建筑基础面积中裂缝所占比例;

$ER$ ——封闭空间换气率,  $1/\text{s}$ ;

$L_B$ ——封闭空间体积与渗透区面积的比例, 单位为厘米 ( $\text{cm}$ );

$L_s$ ——基础至地下污染土壤的距离, 单位为厘米 ( $\text{cm}$ );

$L_{crack}$ ——封闭空间地下基础或墙的厚度, 单位为厘米 ( $\text{cm}$ )

$D_{crack}^{eff}$ ——充满土壤的地基裂缝的有效扩散系数, 单位为平方厘米每秒 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ ); 可通过式 (G. 12)

计算:

$$D_{crack}^{eff} = D^{air} \times \frac{\theta_{acrack}^{3.33}}{\theta_T^2} + \frac{D^{wat}}{H} \times \frac{\theta_{wcrack}^{3.33}}{\theta_T^2} \dots\dots\dots (G. 12)$$

式中:

$\theta_{acrack}$ ——基础/墙裂缝土壤中的空气体积含量,  $\text{cm}^3(\text{空气})/\text{cm}^3(\text{土壤})$ ;

$\theta_{wcrack}$ ——基础/墙裂缝土壤中的水体积含量,  $\text{cm}^3(\text{水})/\text{cm}^3(\text{土壤})$ ;

$\xi$ ——通过基础裂缝的空气流量; 可通过式 (G. 13) 计算:

$$\xi = \frac{Q_s/A_b}{(D_{crack}^{eff}/L_{crack}) \times \eta} \dots\dots\dots (G. 13)$$

其他参数意义同上。

土壤气渗透率 ( $k_v$ )：是土壤中气相物质通过对流传输进入建筑内的计算模型中最敏感的参数之一，一般通过现场气动试验获得，如果试验数据不充分，可通过公式 (G. 14) 计算：

$$k_v = k_i \times K_{rg} \dots\dots\dots (G. 14)$$

式中：

$k_i$ ——土壤固有渗透率，单位为平方厘米 ( $\text{cm}^2$ )；可通过公式 (G. 15) 计算：

$$k_i = \frac{k_s \times \mu_w}{\rho_w \times g} \dots\dots\dots (G. 15)$$

式中：

$k_s$ ——土壤饱和水力传导系数，单位为厘米每秒 ( $\text{cm/s}$ )；

$\mu_w$ ——水的动力粘度，单位为克每厘米秒 ( $\text{g/cm}\cdot\text{s}$ )，取0.01307(10 °C)；

$\rho_w$ ——水的密度，单位为克每立方厘米 ( $\text{g/cm}^3$ )；

$g$ ——重力加速度，单位为厘米每平方秒 ( $\text{cm/s}^2$ )，取980.665；

$k_{rg}$ ——空气相对渗透率，无量纲；可通过公式 (G. 16) 计算：

$$k_{rg} = \sqrt{1 - S_{te}} \times (1 - S_{te}^{1/M})^{2M} \dots\dots\dots (G. 16)$$

式中：

$S_{te}$ ——流体的有效总饱和度，无单位；可通过公式 (G. 17) 计算：

$$S_{te} = \frac{\theta_w - \theta_r}{n - \theta_r} \dots\dots\dots (G. 17)$$

式中：

$\theta_w$ ——土壤中孔隙水含量， $\text{cm}^3(\text{水})/\text{cm}^3(\text{土壤})$ ；

$\theta_r$ ——土壤中残余含水量， $\text{cm}^3(\text{水})/\text{cm}^3(\text{土壤})$ ；

$n$ ——土壤孔隙度， $\text{cm}^3(\text{空气})/\text{cm}^3(\text{土壤})$ 。

d) 地下水中物质至周围空气的挥发性因子  $VF_{gw\text{ amb}}$  可通过公式 (G.18) 计算：

$$VF_{gw\text{ amb}} = \frac{H}{1 + (U_{air} \times \xi_{air} \times W \times L_{gw}) / (D_{ws}^{eff} \times A)} \dots\dots\dots (G. 18)$$

式中：

$L_{gw}$ ——地下水的深度，单位为厘米 ( $\text{cm}$ )；

$D_{ws}^{eff}$ ——地下水水平面至地表的有效扩散率，单位为平方厘米每秒 ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )；可通过公式 (G.19)

计算：

$$D_{ws}^{eff} = \frac{L_{gw}}{h_v / D_s^{eff} + h_{cap} / D_{s, cap}^{eff}} \dots\dots\dots (G. 19)$$

式中：

$h_v$ ——包气带厚度，单位为厘米 ( $\text{cm}$ )；

$h_{cap}$ ——毛细管区带厚度，单位为厘米 ( $\text{cm}$ )；

$D_{s,cap}^{eff}$ ——毛细管区带土壤的有效扩散系数,  $cm^2/s$ ; 可通过公式 (G.20) 计算:

$$D_s^{eff} = D^{air} \times \frac{\theta_{as,cap}^{3.33}}{\theta_{T,cap}^2} + \frac{D^{wat}}{H} \times \frac{\theta_{ws,cap}^{3.33}}{\theta_{T,cap}^2} \dots\dots\dots (G. 20)$$

式中:

$D^{air}$ ——物质在空气中的扩散系数, 单位为平方厘米每秒 ( $cm^2/s$ );

$\theta_{T,cap}$ ——毛细管带土壤总孔隙度,  $cm^3(\text{孔隙})/cm^3(\text{土壤})$ ;

$\theta_{as,cap}$ ——毛细管带土壤中空气的体积含量,  $cm^3(\text{空气})/cm^3(\text{土壤})$ ;

$\theta_{ws,cap}$ ——毛细管带土壤中水的体积含量,  $cm^3(\text{水})/cm^3(\text{空气})$ ;

其他参数意义同上。

e) 地下水中物质至封闭空间空气的挥发性因子  $VF_{gw\ esp}$  可通过下面公式计算:

如果  $Q_s=0$

$$VF_{gw\ esp} = \frac{H \times [86400/(L_B \times ER)] \times (D_{ws}^{eff}/L_{gw})}{1 + [(D_{ws}^{eff} \times 86400)/(ER \times L_B \times L_{gw})] + [(D_{ws}^{eff} \times L_{crack})/(D_{crack}^{eff} \times L_{gw} \times \eta)]} \dots\dots\dots (G. 21)$$

如果  $Q_s>0$

$$VF_{gw\ esp} = \frac{H \times [86400/(L_B \times ER)] \times (D_{ws}^{eff}/L_{gw}) \times e^\xi}{e^\xi + [(D_{ws}^{eff} \times 86400)/(ER \times L_B \times L_{gw})] + [(D_{ws}^{eff} \times A_b)/(Q_s \times L_{gw})] \times (e^\xi - 1)} \dots\dots\dots (G. 22)$$

式中参数意义同上。

#### G. 4 摄入量计算中的相关暴露参数建议值

表G. 2 与人体相关的暴露参数

项目	单位	儿童 0 ~ 6 yrs	成人	寿命	说明
体重	kg	15	60		
可接触的的皮肤表面积	$cm^2/d$	1600	4350		总皮肤的 25%
空气呼吸率	$m^3/d$	5	15		
寿命	a			70	70-73

表G. 3 与人体相关的暴露参数

参数	用地类型	单位	居住	公园	商业	工业
经口摄入量(CR)	儿童 (0~6 岁)	mg/d	200	400	50	-
	成人	mg/d	100	200	50	50
	建筑工人	mg/d	(1)	(1)	100	100
暴露频率(EF)	儿童 (0~6 岁)	d/a	350	250	100	-
	成人	d/a	350	250	300	300
	建筑工人	d/a	-	-	220	220
暴露时间(ED)	儿童 (0~6 岁)	a	6	3	3	-
	成人	a	30	10	25	30
	建筑工人	a	-	-	1	1

**附 录 H**  
**(资料性附录)**  
**成果报告编写提纲及要求**

**H.1 前言**

- H.1.1 项目来源及任务目标
- H.1.2 完成的工作量
- H.1.3 主要成果概述

**H.2 评价区概况**

H.2.1 收集评价区的自然地理、工农业生产、土壤类型、土地利用现状、气候条件、生态环境、水文地质、矿产资源等资料，重点对评价区多目标区域地球化学调查、生态地球化学评价与土地质量地球化学评价成果进行系统总结。

H.2.2 根据局部生态地球化学评价内容差异，所需收集、整理和论述的资料如下：

H.2.2.1 开展矿区生态地球化学评价时，需对拟开展评价的矿区，系统收集、整理和论述矿床的矿石矿物、结构构造、蚀变类型、赋矿围岩、风化程度，以及开采历史、采选工艺、矿床储量（重点是硫化物矿物储量）、气候条件、地理地貌等资料。

H.2.2.2 开展污染场地生态地球化学评价时，需对评价的污染场地收集、整理并论述工厂产品种类、建厂时间、生产规模、三废排放量、环境污染事件、污染物存放和污染物毒性等信息。

H.2.2.3 开展名特优农产品产地生态地球化学评价时，还需收集、整理、论述评价区名特优农产品种类、种植区的地质背景、地球化学特征、成土母质与土壤类型、土壤障碍因子，以及名特优农产品种植区域、经济效益、种植规划等资料。

H.2.2.4 开展绿色食品产地生态地球化学评价时，需收集、整理、论述评价区主要农作物类型、种植规划，以及农业部门和环保部门进行的土壤质量、大气质量、灌溉水质量与农作物安全性调查评价资料。

H.2.2.5 开展地方病病区生态地球化学评价时，需收集、整理、论述地方病特征（患病人群特点、发病时间和空间分布特征）、发病率、患病率，以及土壤、大气、灌溉水等环境质量与农作物安全性等资料，系统总结发病区与对照区居民的饮食结构、生活方式、卫生状况、教育程度、工作种类等方面的差异。

H.2.3 根据资料综合整理分析的结果，结合评价区社会经济发展与生态文明建设需求，提出局部生态地球化学评价的重点内容、评价思路。

H.2.4 根据评价工作需求，可进行实地踏勘，并进行少量样品采集与测试工作，为制定详细的评价方法与技术路线提供依据。

**H.3 工作方法技术及质量评述**

- H.3.1 野外工作方法技术及质量评述
- H.3.2 样品处理方法、分析测试方法及数据质量评述
- H.3.3 数据处理、图件制作和评价方法

## H.4 矿区生态地球化学评价

### H.4.1 潜在生态风险评价

- H.4.1.1 矿区自然地理、气候条件、水文地质等概况
- H.4.1.2 矿区地质背景、地球化学特征
- H.4.1.3 矿床地质地球化学特征及开采历史、采选工艺
- H.4.1.4 矿床重金属元素分布分配特征
- H.4.1.5 自然风化过程中重金属元素迁移规律及其控制因素
- H.4.1.6 硫化物矿床产酸能力与酸中和能力
  - H.4.1.6.1 硫化物矿床的产酸潜力定量评估或定性评价
  - H.4.1.6.2 硫化物矿床的酸中和能力定量评估或定性评价
- H.4.1.7 矿床潜在生态风险评价

### H.4.2 污染程度评价

#### H.4.2.1 矿区土壤污染程度评价

- H.4.2.1.1 矿区土壤元素地球化学背景
- H.4.2.1.2 矿区水系沉积物元素地球化学背景
- H.4.2.1.3 矿区土壤及水系沉积物污染程度评价
- H.4.2.1.4 矿区土壤及水系沉积物潜在生态风险评价

#### H.4.2.2 矿区水体污染程度评价

- H.4.2.2.1 水体中重金属元素及理化指标含量特征
  - H.4.2.2.2 地表水和地下水水质评价
    - H.4.2.2.2.1 单指标水质评价
    - H.4.2.2.2.2 水质综合评价
    - H.4.2.2.2.3 水质定性评价
  - H.4.2.2.3 农田灌溉水、生活饮用水和矿区废水水质评价
  - H.4.2.2.4 水质主要污染指标确定
  - H.4.2.2.5 水质营养状态评价
- #### H.4.2.3 矿区农作物安全性与人体健康风险评价
- H.4.2.3.1 农作物安全性评价
  - H.4.2.3.2 人体健康风险评价

### H.4.3 矿山环境污染综合治理和绿色矿山建设措施建议

## H.5 污染场地生态地球化学

### H.5.1 污染场地污染物识别

- H.5.1.1 土壤与水体污染物含量特征
- H.5.1.2 土壤与水体污染物空间分布（地球化学图）
- H.5.1.3 土壤与水体中污染物污染识别与评价

### H.5.2 风险评价与土壤污染修复目标值确定

- H.5.2.1 生态风险评价
- H.5.2.2 土壤污染修复目标值确定

### H.5.3 污染场地规划利用建议

## H.6 名特优农产品产地生态地球化学评价

- H.6.1 评价区与对照区名特优农产品品质及其控制因素
- H.6.2 名特优农产品安全性评价
- H.6.3 土壤中主要有益元素和重金属元素地球化学行为及其影响因素
- H.6.4 名特优农产品产地地质地球化学模型
- H.6.5 名特优农产品生产规划建议

## H.7 绿色食品产地生态地球化学评价

- H.7.1 产地环境质量评价
  - H.7.1.1 土壤环境质量
  - H.7.1.2 灌溉水环境质量
  - H.7.1.3 大气环境质量
- H.7.2 肥料、农药和饲料使用安全性评价
- H.7.3 农产品安全性评价
  - H.7.3.1 农产品安全性
  - H.7.3.2 影响农产品安全性的主要因素
- H.7.4 绿色食品产地规划建议

## H.8 地方病病区生态地球化学评价

- H.8.1 地方性氟病生态地球化学评价
  - H.8.1.1 岩石(矿石)、土壤、水体、大气中F等元素地球化学特征
  - H.8.1.2 土壤-农作物、土壤-水体、空气-粮食等不同系统中F等元素地球化学循环规律
  - H.8.1.3 人群F等元素摄入量与发病状况(发病率、患病率)和病情程度等联系
  - H.8.1.4 地方性氟中毒影响因素研究
  - H.8.1.5 地方性氟中毒防控建议
- H.8.2 地方性甲状腺肿生态地球化学评价
  - H.8.2.1 土壤、水体中I等元素地球化学特征
  - H.8.2.2 土壤-水体-农作物系统中I等元素地球化学循环规律
  - H.8.2.3 人群I等元素摄入量与发病状况(发病率、患病率)和病情程度等联系
  - H.8.2.4 地方性甲状腺肿发病影响因素研究
  - H.8.2.5 地方性甲状腺肿防控建议
- H.8.3 克山病与大骨节病生态地球化学评价
  - H.8.3.1 土壤、岩石、水体中Se、Ca、Mg等元素地球化学特征
  - H.8.3.2 表生地球化学过程中Se、Ca、Mg等元素地球化学循环规律及影响因素
  - H.8.3.3 人群Se、Ca、Mg等元素摄入量与发病状况(发病率、患病率)和病情程度等联系
  - H.8.3.4 克山病与大骨节病防控建议
- H.8.4 地方性砷中毒生态地球化学评价
  - H.8.4.1 岩石(矿石)、土壤、水体、大气中As等元素地球化学特征
  - H.8.4.2 土壤-农作物、土壤-水体、空气-粮食等不同系统中As等元素地球化学循环规律
  - H.8.4.3 人群As等元素摄入量与发病状况(发病率、患病率)和病情程度等联系

- H. 8. 4. 4 饮用水中As的成因来源及其As<sup>3+</sup>、As<sup>5+</sup>转化的地球化学控制因素
- H. 8. 4. 5 地方性砷中毒防控建议

## 参 考 文 献

US Environmental Protection Agency (EPA). [2015-05-08]. Integrated Risk Information System. <http://www.epa.gov/iris/index.html>

US Environmental Protection Agency (EPA). 1989a. Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS), Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment) InterimFinal. Office of Emergency and Remedial Response. Washington, D.C. EPA/540/1-89/002.

US Environmental Protection Agency (EPA). 1989b. Air Superfund National Technical Guidance Series. Volume II: Estimation of Baseline Air Emissions at Superfund Sites. Interim Final. Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, NC. EPA/450/1-89/002.

World Health Organization (WHO). 2003a. Arsenic in drinking-water. Background for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/03.04/75).

World Health Organization (WHO). 2003b. Lead in drinking-water. Background document for preparation of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/03.04/9).

World Health Organization (WHO). 2005. Mercury in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for drinking-water quality. Geneva, World Health Organization (WHO/SDE/WSH/05.08/10).

World Health Organization (WHO). 2005. Vitamin and mineral requirements in human nutrition(Second edition). Geneva, World Health Organization.

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). 1988. Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. (TRS 776-JECFA 33/27).

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). 1999. Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. (TRS 896-JECFA 53/81).

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). 2011. Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. (TRS 959-JECFA 72).

Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). 2013. Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. (TRS 983 JECFA 77).

中华人民共和国环境保护部. 2002. HJ/T 91-2002 地表水和污水监测技术规范. 北京: 中国环境科学出版社.

中国地质调查局. 2005. DD2005-03 生态地球化学评价样品分析技术要求(试行). 北京: 中国地质调查局.

北京市环境保护监测中心. 2009. DB11/T 656-2009 场地环境评价导则. 北京: 北京市环境保护监测中心.

中国营养学会. 2013. 中国居民膳食营养素参考摄入量. 北京: 科学出版社.

北京市质量技术监督局. 2009. DB 11/T 656-2009 场地环境评价导则. 北京: 北京市质量技术监督局.