

ICS 13.020.30  
Z 04  
备案号：62676-2019

# DB11

## 北京市地方标准

DB11/T 656—2019  
代替 DB11/T 656-2009

### 建设用地土壤污染状况调查与风险评估 技术导则

Site Investigation and Risk Assessment Guideline of Development Land

2019 - 09 - 26 发布

2019 - 10 - 01 实施

北京市市场监督管理局

发布

## 目 次

前 言.....	II
引 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 工作内容与程序.....	3
5 污染状况调查.....	6
6 风险评估.....	17
附 录 A（资料性附录） 地下和地上储藏池（库）调查示例表 .....	25
附 录 B（资料性附录） 土壤气挥发性通量测试方法 .....	27
附 录 C（资料性附录） 土壤中砷、铅人体可给性测试方法 .....	29
附 录 D（资料性附录） 土壤采样技术 .....	33
附 录 E（资料性附录） 地下水监测井建井与采样技术.....	40
附 录 F（资料性附录） 建设用地土壤污染状况调查与风险评估报告编写示例 .....	48
附 录 G（资料性附录） 挥发因子计算.....	53
附 录 H（资料性附录） 概率风险评估原理及案例 .....	58

## 前 言

本标准依据GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准是对《场地环境评价导则》(DB11/T 656-2009)的修订。本标准自实施之日起,《场地环境评价导则》(DB11/T 656-2009)废止。

本标准与DB11/T 656-2009相比,主要修订内容如下:

- 标准名称修订为《建设用地土壤污染状况调查与风险评估技术导则》;
- 修订了不同污染程度区域的布点密度要求和垂向采样间距;
- 增加了挥发性有机物污染地块应开展土壤气污染调查的要求;
- 修订了挥发性有机物风险评估方法;
- 修订了风险评估过程中关注污染物暴露浓度计算方法;
- 增加了污染物修复和管控目标上限值要求。

本标准由北京市生态环境局提出并归口。

本标准由北京市生态环境局组织实施。

本标准修订单位:北京市环境保护科学研究院,北京市固体废弃物和化学品管理中心。

本标准主要起草人:姜林、钟茂生、张文毓、张丹、韩丹、王然、张丽娜、贾晓洋、朱笑盈。

本标准2009年首次发布,本次为第一次修订。

## 引 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国土壤污染防治法》等规定，管控建设用地土壤污染风险，保障人居环境安全，结合北京实际，制定本标准。

# 建设用地土壤污染状况调查与风险评估技术导则

## 1 范围

本标准规定了建设用地土壤、地下水污染状况调查与风险评估的技术要求。

本标准适用于开展建设用地土壤、地下水污染状况调查与风险评估，包括疑似污染地块、用途变更为住宅、公共管理与公共服务用地的建设用地以及国家和本市相关规定中要求开展土壤污染状况调查的情形。

本标准不适用于放射性污染物及致病性微生物污染地块的调查与风险评估。

## 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。

GBJ 145 土的分类标准

GB/T 14848 地下水质量标准

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB 50021 岩土工程勘察规范

HJ 2.2 环境影响评价技术导则 大气环境

HJ 25.2 场地环境监测技术导则

HJ 25.3 污染场地风险评估技术导则

HJ/T 55 大气污染物无组织排放监测技术导则

HJ/T 164 地下水环境监测技术规范

HJ/T 299 固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法

HJ 610 环境影响评价技术导则 地下水环境

HJ 644 环境空气 挥发性有机物的测定 吸附管采样-热脱附/气相色谱-质谱法

HJ 1019 地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则

DB11/T 1278 污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则

DB11/T 1281 污染场地修复后土壤再利用环境评估导则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**有毒有害物质** poisonous and deleterious substances

《工矿用地土壤环境管理办法（试行）》第二十条（二）中所述物质。

### 3.2

**地块概念模型 conceptual site model**

综合描述地块土壤、地下水中污染物进入人体及周边环境介质，并对暴露人群健康和环境产生影响的关系模型。地块概念模型的要素至少包括污染源分布、污染物进入土壤及地下水等环境介质的途径、污染物迁移转化规律及人体接触污染物的方式等。

3.3

**土壤气 soil gas**

地块包气带土壤孔隙中的气相组分。

3.4

**关注污染物 chemicals of concern**

需要在污染状况调查过程中进行检测的污染物，包括但不限于地块生产过程中使用或产生的有毒有害物质及其分解产物，以及地块土壤、土壤气和地下水等环境介质历史监测过程中检出的污染物。

3.5

**人体可给性 bioaccessibility**

污染物随土壤经口摄入或随土壤尘呼吸吸入后，可解吸至人体胃肠液或肺液中的质量与其总质量的比值。

3.6

**非水相液体 Non-aqueous phase liquid**

不能与水互相混溶的液态物质，通常是几种不同化学物质（溶剂）的混合物，又称非水溶相液体（LNAPL）。包括比重小于1的轻质非水相液体（LNAPL，如汽油、柴油等烃类油品物质），以及比重大于1的重质非水相液体（DNAPL，如三氯乙烯、三氯乙烷、四氯乙烯等）。

3.7

**暴露周期 exposure duration**

暴露人群与地块中污染物接触的累积时间。

3.8

**暴露单元 exposure unit**

暴露人群整个暴露周期内在地块中的主要活动区域。

3.9

**暴露方式 exposure route**

暴露人群接触或摄入地块土壤和地下水中关注污染物的方式，如经口摄入、皮肤接触、呼吸吸入等。

3.10

**暴露点 exposure point**

暴露人群接触或摄入土壤和地下水中关注污染物的位置。

### 3.11

**暴露途径 exposure pathway**

关注污染物自污染区域迁移至暴露点并通过各种暴露方式与人群接触的路径。

### 3.12

**暴露点浓度 exposure point concentration**

暴露点土壤、地下水及环境空气中污染物浓度。

### 3.13

**健康风险评估 health risk assessment**

在污染状况调查的基础上，结合关注污染物的迁移归趋行为特征、暴露途径及受体的暴露方式，评估关注污染物对人体造成致癌和非致癌风险的过程。

### 3.14

**环境风险评估 environmental risk assessment**

在污染状况调查的基础上，结合关注污染物的迁移归趋行为特征，评估关注污染物对周边土壤、地下水及地表水等环境敏感点造成损害的过程。

### 3.15

**风险管控 risk control**

实施工程控制或监测监控措施阻止土壤和地下水中污染物扩散对周边环境造成污染或阻断污染物暴露途径以确保暴露人群的健康风险可接受，以及实施制度控制措施限制土地使用功能和阻止敏感受体接触污染介质，避免对未来受体造成危害。

### 3.16

**修复 remediation**

采用物理、化学或生物等工程措施与方法，降解、吸附、转化、转移地块土壤和地下水中的污染物，将有毒有害的污染物转化为无害物质，或使其浓度降低到可接受水平，满足相应的土壤和地下水环境功能或使用功能的过程。

### 3.17

**修复目标值 remediation level**

综合考虑风险评估模型计算结果、已有国内外相关标准、当前修复技术可行性、经济性、公众可接受性及关注污染物背景浓度等因素，最终确定的地块中关注污染物的允许浓度。

## 4 工作内容与程序

### 4.1 污染状况调查

## DB11/T 656—2019

4.1.1 污染状况调查可进一步分为污染识别、初步调查和详细调查，可分阶段依次开展。

4.1.2 污染识别主要工作是通过资料收集、文件审核、现场踏勘与人员访谈等形式，了解地块过去和现在的使用情况，重点是收集分析与污染活动有关的信息，识别和判断地块内土壤与地下水存在污染的可能性。

4.1.3 对识别判断可能存在污染，及因历史用地资料缺失而无法判断是否存在潜在污染的地块，应开展初步调查。初步调查主要工作是依据污染识别结论，对地块内可能存在污染的区域进行布点采样与检测分析，判断地块是否存在污染。

4.1.4 对初步调查确认存在污染的地块，应开展详细调查。详细调查主要是结合初步调查阶段工作成果，开展现场测试与采样检测，查清地块内污染的空间分布、迁移归趋、赋存形态及水文地质条件等信息。

### 4.2 风险评估

通过开展污染状况调查确认存在污染的地块，应结合用地规划及污染状况调查工作成果，评估地块土壤、地下水中污染物的健康与环境风险，提出风险管控目标/修复目标值，并确定相应范围。

### 4.3 工作程序

建设用地土壤污染状况调查与风险评估工作程序见图1。

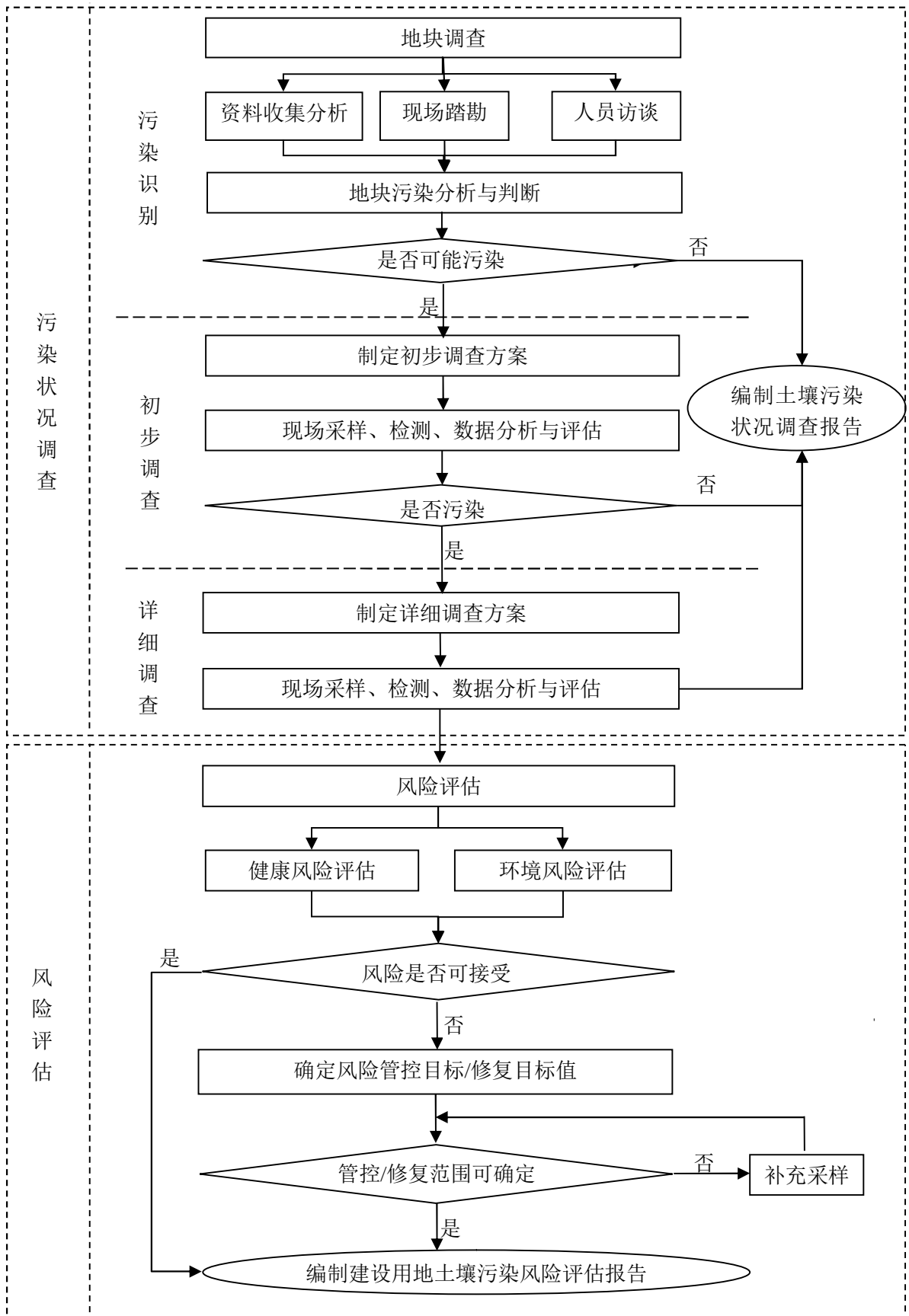


图1 建设用地土壤污染状况调查与风险评估工作程序

## 5 污染状况调查

### 5.1 污染识别

#### 5.1.1 主要工作内容

地块污染识别的主要工作内容包括：

- 资料收集与文件审核；
- 现场踏勘；
- 人员访谈；
- 地块污染状况分析与判断；
- 编写污染状况调查报告。

#### 5.1.2 资料收集

##### 5.1.2.1 自然环境状况

重点收集地块所在区域地质、水文地质和气象气候资料。地质及水文地质资料包括地形地貌、水文地质、土层结构和地表水分布等内容。气象气候资料包括气温、降水、主导风向、平均风速等内容。

##### 5.1.2.2 地块基本信息

地块基本信息应包括地块名称、地理位置、建厂时间、占地面积、生产工艺、主要产品及产量、主要原辅材料及用量、主要产污环节、污染物排放与处理处置情况、污染事故记录等。

##### 5.1.2.3 地块主要生产装置及附属设施分布

地块主要生产装置及附属设施分布信息应包括生产设施、配套设施及污染治理设施类别、数量与分布，尤其是涉及污染物产生和排放的设施、污水管线、污水处理站、各类罐槽分布等。

##### 5.1.2.4 有毒有害物质情况

生产过程中涉及的有毒有害物质种类、使用和贮存量，贮存设施分布和使用，排放和处理处置等。

##### 5.1.2.5 监测数据

生产过程中土壤、地下水及废水等的污染物监测数据。

##### 5.1.2.6 周边市政雨污管道分布

地块周边市政雨污管道分布、埋深等相关信息。

##### 5.1.2.7 地块土地利用及变迁

地块历史上的土地利用状况，重点是地块作为工业用地的利用状况，收集资料内容同5.1.2.2~5.1.2.6。

##### 5.1.2.8 地块周边企业信息

宜收集地块周边800 m范围内企业相关信息，重点是周边涉及有毒有害物质存储、使用、排放和处理处置等工业企业的相关信息，具体收集资料内容可参照5.1.2.2~5.1.2.5。

##### 5.1.2.9 资料清单

应收集的资料包括但不限于：

- a) 地块及其周边历史影像图；
- b) 地块土壤和地下水污染状况监测数据；
- c) 环境影响评价报告书（表）；
- d) 地块历年环境监测报告；
- e) 污染排放记录、排污登记和排污许可证；
- f) 生产工艺流程图及说明；
- g) 有毒有害物质清单（种类和数量）；
- h) 储罐及水池等储存设施的相关资料；
- i) 各种管网分布图，如污水管网和物料输送管线分布图等；
- j) 地块及其所在区域水文地质资料；
- k) 企业环境管理相关文件；
- l) 企业生产设施和污染防治设施清单及分布图；
- m) 污染防治设施运行状况记录；
- n) 各类环境污染事故记录；
- o) 不同时期地块范围内及周边的地形图、卫星遥感图像或航空图像；
- p) 土地使用权证明及变更记录、房屋拆除记录等信息；
- q) 地块周边市政雨污管道分布图等信息；
- r) 地块周边地下水水源地、补给区、保护区等环境敏感点分布图等信息。

### 5.1.3 文件审核

通过对生产工艺、原辅材料、储存和使用设施等相关文件进行审核，分析地块可能涉及的有毒有害物质及其使用、存储区域。

### 5.1.4 现场踏勘

#### 5.1.4.1 地块污染痕迹踏勘

调查地块污染痕迹，各种容器及排污设施损坏和腐蚀痕迹，地块内的气味，地面及墙壁的污渍和腐蚀痕迹，植被损害等。

#### 5.1.4.2 有毒有害物质的使用与存储情况踏勘

有毒有害物质的使用与存储情况踏勘至少包括以下内容：

- a) 有毒有害物质的种类、数量、涉及的容器和储存条件，包括没有封闭或发生损坏的储存容器的数量及类型等信息；
- b) 各类储存设施及其配套的输送管线分布，应记录储存物质、容量、建设年代等内容。调查示例表可参照附录 A；
- c) 各类水池分布及其用途；
- d) 含多氯联苯的电力及液压等设备的分布信息；
- e) 地块内及周边运输有毒有害物质的市政管线分布及运输路线；
- f) 有毒有害物质等存储设施周边气味信息。

#### 5.1.4.3 建（构）筑物踏勘

建（构）筑物踏勘至少包括以下内容：

- a) 建（构）筑物的现状及完好情况，如建筑物的数量、层数、大致年代等；

## DB11/T 656—2019

- b) 生产装置区、贮存区、废物处置场所等区域的地面铺装情况，是否存在由于生产装置的腐蚀和跑冒滴漏造成的地面及墙壁的污渍和腐蚀痕迹；
- c) 燃料的类型及贮存情况；
- d) 建（构）筑物及管线保温情况，重点关注石棉的使用及贮存等情况；
- e) 生产装置区、贮存区、废物处置场所等以外区域的室外地面铺装情况，地面污渍痕迹及室外可能因污染引起的植被生长不正常情况；
- f) 生产过程排放污染物的信息，相关处理构筑物（如排水管、排水沟、水池等）的使用情况，处理系统的建设年代和处理工艺等；
- g) 明显堆积或填充废弃建筑垃圾或其他固体废物的区域；
- h) 水井分布，水样颜色、气味等异常情况。

### 5.1.4.4 周边相邻区域调查

周边相邻区域调查至少包括以下内容：

- a) 市政雨污管道分布、埋深等，分析周边污染企业通过市政雨污管道排放的污染物渗入地下水后随地下水迁移至地块内并对地块土壤和地下水造成污染的可能性；
- b) 周边可能对地块土壤和地下水造成污染的企业相关信息；
- c) 周边已确定的污染地块，重点调查污染地块中关注污染物类型、理化特性、污染程度、污染分布、水文地质条件等，分析其对地块造成污染的可能性及主要途径。

### 5.1.4.5 地块应急清理

现场勘查发现有有毒有害物质泄漏时，应迅速组织评估有毒有害物质的泄漏情况及危害程度，并告之土地使用权人，由土地使用权人及时采取措施以最大程度降低污染扩散范围。

### 5.1.4.6 现场工作人员个人防护

工作人员应按照有关要求做好现场踏勘过程中的人员健康和安全防护措施。

### 5.1.5 人员访谈

至少包括以下内容：

- a) 访问地块所有权单位和使用单位的相关知情人员，了解地块历史变迁、生产工艺变化、原辅材料变化、各类污染物排放和处理处置设施的使用情况等；
- b) 访问地块周边居民和工作人员，了解地块及周边地区现状及历史变迁；
- c) 了解地块过去和现在的环境污染状况、环境事故及其对地块环境的影响；
- d) 了解地块使用的历史变迁及未来利用规划等相关信息。

### 5.1.6 污染状况分析与判断

5.1.6.1 根据资料收集与文件审核、现场踏勘、人员访谈所掌握的地块信息，分析判断地块受到污染的可能性，具体内容和分析方法如下：

- a) 根据生产工艺、原辅材料、产品种类以及排放废水、废气、固体废物等情况，分析地块内可能存在的污染物种类；
- b) 根据地块生产设施、管线、有毒有害物质储存设施的分布、污染物排放方式、现场污染痕迹、污染物的迁移特性等，分析地块内潜在污染区域；

- c) 根据地块周边企业生产工艺、原辅材料使用与污染物排放、产品类型、储存设施及管线分布、土壤和地下水普查、详查及各类污染物监测报告等信息收集分析结果,结合地块所在区域水文地质条件及周边雨污管道分布与埋深等,分析周边地块污染物迁移至地块内的可能性;

#### 5.1.6.2 应开展污染状况初步调查的地块包括但不限于下列情景:

- 从事过有色金属冶炼、石油加工、化工、焦化、电镀、制革等行业生产经营活动,及从事过危险废物贮存、利用、处置活动的用地;
- 污染识别阶段现场踏勘过程中发现污染痕迹,或已有证据(如已有地块土壤、地下水监测数据等)表明土壤/地下水已受到污染的地块;
- 未发现污染痕迹,但生产过程涉及有毒有害物质且不能排除其对土壤、地下水已产生影响的地块;
- 有证据表明周边工业企业可能对地块内土壤、地下水已造成污染的地块;
- 地块及周边地块用地历史资料缺失,不能排除土壤、地下水已受污染的地块。

#### 5.1.6.3 污染识别判断地块未受到污染时,终止调查工作并编制建设用地土壤污染状况调查报告。

### 5.1.7 概念模型构建

需开展污染状况初步调查的地块应建立地块概念模型,确定储罐等一次泄漏源的潜在分布、潜在关注污染物类型及进入土壤和地下水的途径、空间分布及地块所在区域的水文地质条件等信息。

## 5.2 污染状况初步调查

### 5.2.1 工作内容

地块污染状况初步调查的工作内容主要包括:

- a) 制定初步调查方案;
- b) 现场采样;
- c) 实验室检测;
- d) 结果分析;
- e) 编制污染状况调查报告。

### 5.2.2 初步调查方案制定

#### 5.2.2.1 污染状况初步调查工作开展前,应制定调查方案,至少应包括下列内容:

- a) 采样目的;
- b) 采样点布置、采样介质、采样深度;
- c) 现场钻探与地下水监测井建井技术;
- d) 样品采集、编号方法与保存技术;
- e) 样品检测项目与方法;
- f) 质量控制与保证措施。

#### 5.2.2.2 实施过程中可根据现场揭露的污染痕迹、水文地质条件等信息动态优化调整初步调查方案。

### 5.2.3 初步调查布点要求

5.2.3.1 依据污染识别阶段初步构建的地块概念模型,采用判断布点与随机布点相结合的方法进行采样点布置。判断布点法适用于疑似污染区域,重点是地块内的储罐、污水管线、有毒有害物质储存库、

## DB11/T 656—2019

跑冒滴漏严重的生产装置区、受大气无组织排放影响明显的区域等；随机布点法适用于地块内办公和生活等非生产区域。

5.2.3.2 根据地块历史生产设施布局，结合污染识别结论将地块划分为若干疑似污染区域，每个疑似污染区域内应布置不少于3个土壤采样点，可根据实际情况酌情增加。地块内办公和生活等非生产区域布点数量不应少于总布点数量的5%，且不应少于3个，可根据实际情况酌情增加。

5.2.3.3 无法确定地块过去的生产活动及各类产污装置的位置时，应采用网格布点法。地块面积 $\leq 5000$   $m^2$ 时，土壤采样点位数不应少于3个；地块面积 $> 5000$   $m^2$ 时，土壤采样点位数不应少于6个，可根据实际情况酌情增加。

5.2.3.4 在地块内地下水上游、下游及疑似污染区域内应至少布置3个地下水监测井，可根据实际情况酌情增加。地下水监测井的设置数量和位置，需满足刻画地块地下水水流场信息的要求。

5.2.3.5 结合污染识别阶段的结论、污染物的理化特性及其在土壤中的典型迁移归趋特征、类似地块的调查结果、现场钻探采样过程中便携设备检测结果、地层结构、土壤颜色、异味等污染痕迹信息，判断地块地下水可能不存在污染时，可不开展地下水监测。

5.2.3.6 无法在疑似污染区域，特别是罐、槽及废水池等污染设施底部采样时，应尽量在接近疑似污染区域且在污染物迁移的下游方向布置采样点。采样点和疑似污染区距离较远时，应在具备采样条件后补充采样。

5.2.3.7 第一层地下水为非承压类型时，土壤采样深度至初见地下水的位置。第一层地下水为承压水或层间水时，土壤采样深度不宜超过第一层弱透水层（含水层顶板）。采样点的具体设置要求如下：

- a) 表层：可根据土层性质变化及是否存在回填土等情况确定表层采样点的深度，表层采样点深度一般为0~1.5 m；
- b) 表层与含水层之间：至少设置1个采样点，同一钻孔垂向上2个采样点的间距不应大于2 m。层内含有黏土、粉质黏土等低渗透性土层时，应在此类土层中增加采样点。各采样点的具体位置应根据现场便携式设备检测结果、土壤污染痕迹（如异常气味和颜色等）等信息确定；
- c) 第一层地下水为非承压类型时，地下水位线附近应至少设置1个土壤采样点；第一层地下水为承压水或层间水时，弱透水层顶部应至少设置1个土壤采样点。不需建地下水监测井的钻孔，钻孔深度不应打穿弱透水层；
- d) 可根据现场便携式设备检测结果、钻探过程中土壤和地下水颜色、异味等污染痕迹信息，动态优化各采样点的具体采样深度。

5.2.3.8 地下水可能受污染时，在建设地下水监测井的过程中，可增加针对地下水含水层土壤的采样点以支撑风险评估阶段对地下水迁移扩散趋势的分析。采样点的具体设置要求如下：

- a) 第一层地下水为非承压类型时，应在含水层内及含水层底板增加土壤采样点；
- b) 第一层地下水为承压水或层间水时，应在地下水初见水位附近、含水层内及含水层底板增加土壤采样点；
- c) 每个采样点地下水含水层内土壤采样数量依据含水层厚度确定，采样点垂向采样间距不应大于2 m。层内含有黏土、粉质黏土等低渗透性土层时，应在此类位置增加土壤采样点。

5.2.3.9 有地下储存设施时，应在储存设施基础以下至地下水含水层底板间至少选取2至3个不同的深度进行采样。土层特性垂向变异较大时，每个不同性质的土层应至少采集1个土壤样品，且采样点垂向间距不大于2 m。

5.2.3.10 地下水监测一般以最易受污染的第一层地下水作为监测对象,地下水含水层厚度大于3 m且存在明显污染痕迹时,应开展地下水分层监测。

5.2.3.11 污染识别判断地块可能存在挥发性有机物及氨等可以气态形式赋存于土壤气中的污染物时,可结合土壤、地下水采样点的布置,设置监测井对土壤气进行取样监测。地块土层以卵石、砂土、粉砂为主时,须设置监测井对土壤气进行取样监测。土壤气监测井的设置,可按照DB11/T 1278执行。

5.2.3.12 初步调查采样可分多个批次开展,并对布点采样方案进行动态优化。

#### 5.2.4 样品检测指标

初步调查阶段样品检测指标总体应满足GB 36600的要求,且应包括污染识别阶段确定的关注污染物。

#### 5.2.5 地块风险筛选

5.2.5.1 地块土壤污染风险筛选应以人体健康风险筛选为主,将污染状况调查过程中所采集样品的检测结果与基于保护人体健康的土壤风险筛选值进行比较。筛选值可参考GB 36600,该标准中缺省的指标,可根据地块概念模型推导相应污染物对应用地情境下基于保护人体健康的风险筛选值。

5.2.5.2 按5.2.3.11要求开展了土壤气监测的地块,需将土壤气中关注污染物检出浓度与土壤气健康风险筛选值进行比较,以进一步判断赋存于土壤气中的挥发性污染物是否存在健康风险。土壤气筛选值可参见DB11/T 1278中的附录B,该标准中缺省的指标,可根据地块概念模型推导相应用地情景下关注污染物的土壤气筛选值,推导方法可按照DB11/T 1278执行。

5.2.5.3 位于集中式地下水型饮用水源(包括已建成的在用、备用、应急水源,在建和规划的水源)保护区及补给区(补给区优先采用已划定的饮用水源准保护区)的挥发性有机物污染地块,应开展基于保护地下水的土壤污染风险筛选。将污染状况调查过程中所采集土壤样品的检测结果与基于保护地下水的土壤风险筛选值进行比较,筛选值可选用DB11/T 1281中基于保护地下水的筛选值(即DB11/T 1281-2015表1中的一级再利用筛选值),该标准中缺省的污染物,可根据地块概念模型推导相应污染物基于保护地下水的土壤风险筛选值,推导方法可按照DB11/T 1281执行。

5.2.5.4 应结合地块所在区域地下水功能区划及其水质背景值,确定地下水污染状况评估的标准,并开展地块地下水污染状况评估。

5.2.5.5 当地块土壤、地下水中污染物浓度均低于土壤健康风险筛选值或相应的地下水污染状况评估标准,且按5.2.3.11要求开展了土壤气监测的地块土壤气中污染物检出浓度低于对应用地情境下的筛选值时,可认为地块不存在污染,调查可终止并应编制建设用地土壤污染状况调查报告。否则,应进一步开展污染状况详细调查。

#### 5.2.6 地块概念模型更新

开展详细调查的地块,应结合初步调查阶段所获污染数据及水文地质条件等信息,更新地块概念模型,明确地块内历史生产过程中储罐、管道及污水池等一次泄漏源的分布、关注污染物种类、总体污染程度、污染物空间分布、地层结构和水文地质条件等信息。

### 5.3 污染状况详细调查

#### 5.3.1 工作内容

地块污染状况详细调查的工作内容主要包括:

## DB11/T 656—2019

- a) 制定详细调查方案;
- b) 现场采样;
- c) 实验室检测;
- d) 结果分析;
- e) 编制污染状况调查报告。

### 5.3.2 详细调查方案制定

5.3.2.1 污染状况详细调查工作开展前,应根据更新后的地块概念模型制定详细污染调查方案,内容应至少包括采样点布置、采样深度、检测项目等。

5.3.2.2 对于存在非水相液体、地下水污染羽长度大于 1000 m、污染物不易降解(如氯代有机溶剂类污染物等)、水文地质条件复杂及含水介质非均质各向异性明显等的复杂污染地块,可采用现场实时探测与传统采样分析相结合的技术开展高分辨率的调查,实现对地块概念模型的精细刻画。可借助便携式检测探测仪(如光离子气体检测仪、火焰离子气体检测仪、膜界面探测-便携式气相色谱仪、便携式气相色谱/气相色谱-质谱仪、激光诱导荧光检测仪、X 射线荧光分析仪、高密度电阻与探地雷达等)对污染物和水文地质条件现场实时探测。

5.3.2.3 实施过程中,应结合不断获取的地块污染状况和水文地质条件等信息,动态调整和优化详细调查方案。

### 5.3.3 详细调查布点要求

5.3.3.1 应根据更新后的地块概念模型确定,可采用网格布点法或判断布点法进行采样点布置。网格布点法主要用于污染分布广泛的地块,判断布点法主要用于局部污染的地块。

5.3.3.2 布点网格数应视所调查地块的面积及污染区域的数目确定。地块内通过调查判断存在土壤染的区域,土壤采样点网格面积不应大于 20 m×20 m,并可酌情加密;存在地下水污染的区域,地下水监测井网格密度不应大于 40 m×40 m,并可酌情加密。地块内其他区域土壤和地下水布点密度可参照相关规定执行。

5.3.3.3 存在挥发性有机物及氨等可以气态形式赋存于土壤空气中的污染区域,应加密设置土壤气监测井进行土壤气监测,并可进一步开展挥发通量测试。土壤气监测的具体技术要求可按照 DB11/T 1278 中的相关规定,挥发通量测试可按照附录 B。

5.3.3.4 需评估室外呼吸暴露途径下健康风险的污染地块,可开展环境空气监测。选择挥发性有机物重污染区及其下风向,布置不少于 3 个环境空气监测点,并可根据情况酌情增加。监测时段应涵盖最不利气象条件,且不应少于 4 次。适宜开展室外环境空气的气象条件可参考 HJ/T 55,具体采样检测技术要求,可按照 HJ 644 执行。

5.3.3.5 针对砷、铅等重金属污染地块,可根据土壤中此类污染物全量检测结果,采集土壤样品进行人体可给性测试。具体采样位置及样品数量,应依据土壤中污染物全量检测结果及地块污染分布特征确定,测试方法按照附录 C。其他类型污染物可参照此方法开展人体可给性测试。

5.3.3.6 地下水存在污染的地块,结合风险评估的数据需求,可开展如下调查测试:

- a) 可沿地下水水流方向设置垂直于地下水流向的监测断面,监测关注污染物的迁移通量,为评估地下水中污染物迁移扩散风险提供数据支撑,监测断面数不少于 3 个,其中 1 个监测断面可布置于重污染区边界处,其余两个监测断面可沿地下水水流方向依次布置于污染羽中心及其边界,并可根据污染羽长度酌情增加地下水监测断面;

- b) 可对地下水常规水化学指标（如溶解氧、氧化还原电位、pH、硝酸盐、亚硝酸盐、二价铁离子、三价铁离子、二价锰离子、总锰离子、硫酸盐、硫化物等）及微生物群落结构特征进行监测；
- c) 地下水中存在 NAPL 的地块，可对 NAPL 的厚度、面积、具体组分、理化特性（如密度、运动粘度、表面张力等）、饱和度、相对导油系数、导油率等参数进行测试。

5.3.3.7 应结合风险评估的数据需求，开展水文地质调查，具体要求包括但不限于：

- a) 应对地块进行土工试验，测试指标包括土壤含水率、天然密度、饱和度、孔隙比、孔隙率、实验室垂直和水平渗透系数以及粒径分布等参数，具体要求应符合 GB 50021 的相关规定；
- b) 应开展现场水文地质参数测试，包括抽水试验、微水试验等，以确定地下水流速、渗透系数等水文地质参数，具体要求应符合 GB 50021 的相关规定。

5.3.3.8 对地块内的重点污染区域，可进一步采用动力触探、连续渗透性测试等技术开展厘米至米级分辨率的地层结构与水文地质条件调查。

5.3.3.9 对易在降雨淋溶作用下发生垂向迁移造成地下水污染的地块（如六价铬污染地块等），应结合地块所在区域降雨 pH 值等因素，按照 HJ/T 299 等方法开展关注污染物浸出测试。

#### 5.3.4 样品检测指标

详细调查阶段样品检测指标应根据初步调查结果确定。

#### 5.3.5 检测结果分析评估

5.3.5.1 详细调查阶段样品检测结果数据质量分析的技术要求，可参照初步调查阶段的相关要求执行。

5.3.5.2 应结合初步和详细调查阶段所获地层结构及地下水分布等信息，对地块的水文地质条件进行综合分析。

5.3.5.3 应综合初步和详细调查阶段所获所有样品检测数据，对地块内土壤和地下水的污染状况进行全面分析评估，并筛选确定需开展风险评估的关注污染物。

#### 5.3.6 地块概念模型更新

应结合初步和详细阶段所获地块污染数据及水文地质条件等信息，进一步更新地块概念模型，明确以下要素：

- a) 非水相液体、重度污染土壤和地下水、低渗透性污染土层等潜在二次污染源的分布；
- b) 关注污染物的赋存形态与迁移归趋特征；
- c) 地块典型水文地质参数取值范围。

### 5.4 现场采样与实验室分析

#### 5.4.1 采样前的准备

根据调查方案，制定采样计划表，准备各种记录表单、必需的监控器材、取样器材等，并按照 HJ 25.2 的技术要求进行消毒或预先清洗。

#### 5.4.2 采样点现场定位

根据调查方案，采样前应对采样点高程和坐标进行现场定位测量并做好标识。

### 5.4.3 采样计划调整

出现下列情况可调整采样计划，并做好记录：

- 当现场条件受限无法实施采样时，采样点位置可根据现场情况进行适当调整；
- 现场污染状况或水文地质条件与预期差异较大时，应根据现场情况，动态调整布点采样计划。

### 5.4.4 土壤样品的采集

#### 5.4.4.1 采样器的选择

采样器的选择要求如下：

- 对需检测挥发性有机物的土壤样品，应选择非扰动采样器采样；
- 土工试验样品的采集按照 GB 50021 的相关规定执行。

#### 5.4.4.2 表层土壤样品采集

表层土样的采样要求如下：

- a) 表层土采样可使用手工采样或螺旋钻采样；
- b) 手工采样应先用铁锹、铲子和泥铲等工具将地表物质去除，并挖掘到指定深度，然后用不锈钢或塑料铲子进行样品采集，不应使用铬合金或其他相似质地的工具；
- c) 螺旋钻采样应先钻孔达到所需深度后，获得一定高度的土柱，然后用不锈钢或塑料铲子去除土柱外围的土壤，获取土芯作为土壤样品；
- d) 采集土壤样品时，应把表层硬化地面和一些大的砾石、树枝剔除。

#### 5.4.4.3 深层土壤样品采集

深层土壤样品采集的技术要求如下：

- a) 深层土壤样品的采集应首先通过钻探获取非扰动岩芯，再从非扰动岩芯中将采样位置的土壤样品转移至样品瓶内；
- b) 应结合地块的地层结构、现场作业条件和采样要求选择适用的钻探技术，不同钻探技术的适用条件参见附录 D.1；
- c) 现场钻探过程中，需记录各钻孔不同深度土壤岩性等信息，具体的记录要求及钻探采样记录单样式参见附录 D.2；
- d) 根据需要，现场土壤样品采集后，可选择部分典型钻孔的岩芯进行留存，具体要求参见附录 D.3。

#### 5.4.4.4 挥发性有机物污染土样采集

用非扰动采样器将从岩芯设计采样位置采集的土壤样品直接推入专用的样品瓶，可按照 HJ 1019 的相关规定执行。

#### 5.4.4.5 土壤样品保存与运输

应根据拟检测的指标，选择符合要求的土壤样品保存容器、保存方法及运输方式，具体可参见附录 D.4。

#### 5.4.4.6 封孔

对未规划建设地下水监测井的土壤采样孔，钻探采样结束后应立即采用清洁颗粒膨润土回填并加水膨胀以进行封孔，必要时可采用注入清洁泥浆的工艺进行封孔，防止二次污染。

#### 5.4.5 土壤气样品采集

应通过建设土壤气监测井的方式开展土壤气样品的采集，土壤气监测井建井、采样及样品保存等环节的技术要求，可按照DB11/T 1278执行。

#### 5.4.6 地下水样品采集

5.4.6.1 应通过建设地下监测井采集地下水样品，地下水监测井的建井与样品的采集总体上应满足 HJ 1019 的相关技术要求。

5.4.6.2 地下水监测井的建井包括井结构设计、井管与过滤材料选择、井孔钻探、下管、填砾及止水、井台构筑、井位高程及坐标测量及设置标识牌等步骤，具体技术要求可按照附录 E.1~E.7。监测井建井结束后，应对每个监测井最终的成井信息记录成册，建井记录单可按照附录 E.8。

5.4.6.3 地下水监测井建井结束后，应进行成井洗井，以确保水清砂净，具体可按照 HJ 1019 执行。洗井过程中应记录地下水水位及常规水化学参数（如溶解氧、pH、氧化还原电位等）的变化，记录单格式可参照附录 E.9。成井洗井达到要求后，待水位恢复稳定后（一般不小于 48 h）记录监测井内地下水稳定水位埋深等信息，水位测量记录单可参照附录 E.10。如地下水监测井内发现非水相液体，应用油层测厚仪测量油层的位置和厚度，并记录。

5.4.6.4 地下水采样前应进行采样前洗井，洗井及地下水样品的采集宜采用低流量洗井采样技术，总体上应满足 HJ 1019 的要求。采用贝勒管进行洗井采样时，应尽可能避免对地下水的扰动。经现场验证后，可采用地下水被动式采样器进行采样。采样设备的进水口一般在地下水水面以下 1.0 m 以内。地下水采样过程中应填写相关采样信息，地下水采样记录单参照附录 E.11。

5.4.6.5 结合地块水文地质条件，可利用直推式钻探设备开展地下水随钻取样，具体要求可参考相关技术规定。

5.4.6.6 地下水样品应结合拟测试的指标，选择符合要求的容器进行保存及运行，按照附录 E.12。

#### 5.4.7 采样过程二次污染防治

每个采样点钻探结束后，应将所有剩余的废弃土壤妥善安全处置，统一运往指定地点储存；洗井及设备清洗废水应使用塑料容器进行收集，不应随意排放；未建设地下水监测井的采样钻孔，应采用清洁膨润土回填并压实以封孔。

#### 5.4.8 采样过程的质量保证

##### 5.4.8.1 防止采样过程中的交叉污染

两个钻孔之间钻探设备应进行清洗，同一钻孔不同深度采样时也应应对钻探设备、取样装置进行清洗，与土壤接触的其他采样工具重复使用时也应清洗。现场采样设备和取样装置的清洗方法可参照如下程序：

- a) 用刷子刷洗、空气鼓风、湿鼓风、高压水或低压水冲洗等方法去除黏附较多的污染物；
- b) 用肥皂水等不含磷洗涤剂清洗可见颗粒物和残余的油类物质；
- c) 用蒸馏水或去离子水冲洗去除残余的洗涤剂；
- d) 当采集的样品中含有金属类污染物时，须用 10% 的硝酸冲洗，不存在重金属污染物的地块，此步骤可省略；
- e) 用蒸馏水或去离子水冲洗；

## DB11/T 656—2019

- f) 当采集样品中含有有机污染物时,应用色谱级有机溶剂进行清洗,常用的有机溶剂有丙酮、己烷等,其中丙酮适用于多数情况,己烷适用于多氯联苯污染的情况;当样品要进行目标化合物列表分析时,用以清洗的溶剂应选用易挥发物质,对于不存在有机污染物的地块,此步骤可省略;
- g) 用蒸馏水或去离子水冲洗;
- h) 用空气吹干后,用塑料或铝箔包好设备;
- i) 采用直推式钻探开展地下水随钻取样过程中,应防止钻探过程中钻具将浅层污染物带至深层取样位置以及在钻具周边形成污染物迁移的优先通道。

### 5.4.8.2 现场质量控制样

现场采样过程质控样要求如下:

- a) 一般包括现场平行样、现场空白样、运输空白样、清洗空白样等;
- b) 质量控制样的总数应不少于总样品数的 10%。

### 5.4.9 样品的保存与运输

5.4.9.1 应针对不同检测项目选择相应的样品保存方式。常见土壤和地下水样品的保存要求参见附录 D.4 和 E.12,土壤气样品的保存要求按照 DB11/T 1278 的相关规定执行。

5.4.9.2 样品应采用冷藏保温箱运输,并在保存时限内运至实验室。

### 5.4.10 现场人员个人防护

5.4.10.1 应根据国家有关有毒有害物质使用及健康安全等相关法规制定现场人员安全防护计划,并对相关人员进行必要的培训。

5.4.10.2 现场人员必须按有关规定,使用个人防护装备。

5.4.10.3 严格执行现场设备操作规范,防止因设备使用不当造成的各类工伤事故。

5.4.10.4 对现场危险区域,如深井、水池等应进行标示。

### 5.4.11 现场污染应急处理

现场钻探采样过程中发现有毒有害物质泄漏时,应迅速组织评估有毒有害物质的泄漏情况及危害程度,并告之土地使用权人,由土地使用权人及时采取措施以最大程度降低污染扩散范围。

### 5.4.12 样品检测

5.4.12.1 应选择通过中国计量认证(CMA)的第三方实验室开展相应的样品检测。

5.4.12.2 样品检测方法应符合国家和北京市相关要求。

5.4.12.3 土壤气样品的检测方法,可按照 DB11/T 1278 执行。

5.4.12.4 地块土壤污染状况调查报告中应列出实验室分析条件,采用的主要仪器,各指标的检测方法、检出限和质量控制结果。

### 5.4.13 检测数据质量分析

应对每批次样品检测数据质量进行分析,至少包括:

- a) 样品检测结果是否满足相应的实验室质量控制要求;

- b) 通过现场采样过程中掌握的地下水埋深、地下水流向、土壤特性、土壤厚度、污染痕迹等情况，分析数据的代表性。

## 5.5 不确定性分析

调查采样过程部分采样点可能受地下管网（如煤气管道、电缆等）、建构物等影响而无法按计划采样，此时应分析上述影响对污染状况调查结论带来的不确定性，并提出在障碍物清除后是否需要开展补充调查的建议。

## 5.6 污染状况调查报告编制

终止于污染识别阶段的地块，建设用地土壤地块污染状况调查报告的编写格式参照附录F.1；终止于污染状况初步阶段的地块，建设用地土壤地块污染状况调查报告的编写格式参照附录F.2；终止于污染状况详细调查阶段的地块，建设用地土壤地块污染状况调查报告的编写格式参照附录F.3。

# 6 风险评估

## 6.1 工作内容

以评估地块土壤、地下水中污染物的健康风险为主，同时需分析污染物迁移扩散对周边环境造成污染的可能性。主要工作内容包括：

- a) 地块概念模型细化；
- b) 健康风险评估（危害识别、暴露评估、毒性评估、风险表征）；
- c) 环境风险评估；
- d) 风险管控目标与修复目标值的确定；
- e) 划定风险管控与修复范围；
- f) 编制风险评估报告。

## 6.2 概念模型细化

根据详细调查阶段更新后的地块概念模型，结合地块未来再开发用地规划及建设方案进一步细化概念模型，主要内容包括但不限于：

- a) 明确地块未来再开发利用后的主要暴露人群及其暴露特征（如暴露周期及频率等）；
- b) 结合暴露人群的活动规律及关注污染物在环境介质中的迁移归趋特征，分析和确定关注污染物的暴露途径、人群接触污染物的暴露方式及暴露点分布；
- c) 结合地块所在区域地下水功能规划、环境敏感目标分布及关注污染物迁移归趋特征等信息，明确地块土壤和地下水污染可能造成环境风险的途径和方式。

## 6.3 健康风险评估

### 6.3.1 危害识别

#### 6.3.1.1 筛选风险评估的关注污染物

结合细化后的地块概念模型，进一步筛选确定需进行定量风险评估的关注污染物。

#### 6.3.1.2 暴露单元划分

宜结合污染地块详细建设方案、用地规划及地块面积等因素，划分暴露单元：

- a) 地块详细建设方案明确时,根据建设方案划分暴露单元,可将每栋规划建筑所在区域作为一个暴露单元;
- b) 地块详细建设方案不明确,规划为一类用地的污染地块,面积不大于 4000 m<sup>2</sup>时,可将其整体视为 1 个暴露单元,面积大于 4000 m<sup>2</sup>时,可以污染采样点为中心划分若干面积不大于 4000 m<sup>2</sup>的正方形,每个正方形作为 1 个暴露单元;规划为二类用地的污染地块,面积不大于 8000 m<sup>2</sup>时,可将其整体视为 1 个暴露单元,面积大于 8000 m<sup>2</sup>时,可以污染采样点为中心划分若干面积不大于 8000 m<sup>2</sup>的正方形,每个正方形作为 1 个暴露单元。

### 6.3.1.3 暴露点污染物浓度计算

应结合暴露单元划分结果,计算每个暴露单元内关注污染物暴露点浓度:

- a) 每个暴露单元内如土壤采样点数量不少于 12 个,以采样点浓度平均值的 95%置信水平上限值(UCL)或采样点浓度按其代表面积的加权平均值作为暴露点浓度进行风险评估。否则,以该暴露单元内关注污染物最大检出浓度作为暴露点浓度进行风险评估,或进一步补充采样点数量;
- b) 对存在挥发性有机物污染的暴露单元,以暴露单元内土壤气中污染物浓度计算受体暴露点浓度,评估挥发性有机物呼吸暴露途径下的健康风险,具体计算可参照本条款中 a) 执行;
- c) 对于暴露单元内土壤中砷、铅等以经口摄入为关键暴露方式的污染物,可采用人体可给性浓度作为暴露浓度进行风险评估;
- d) 暴露单元内地下水监测井数量不少于 6 个,且对其开展不少于 2 轮涵盖地下水丰枯水期的地下水采样监测(即获得了不少于 12 个地下水监测数据),可以暴露单元内地下水中关注污染物检测结果平均值的 UCL 作为暴露点浓度进行风险评估。否则,以暴露单元内最大检出浓度作为暴露点浓度进行风险评估,或进一步补充地下水监测井数量;
- e) 未按 6.3.1.2 要求划分暴露单元的污染地块,污染空间分布均匀或污染物浓度呈正态分布时,可将地块中污染物检出浓度的 UCL 作为暴露点浓度进行风险评估。否则,以地块内关注污染物最高检出浓度作为暴露点浓度进行风险评估。

### 6.3.2 暴露评估

6.3.2.1 依据细化后的地块概念模型,结合地块未来再开发用地规划及建设方案,确定暴露途径、暴露人群、暴露方式等暴露参数取值等,计算暴露人群摄入土壤、地下水中关注污染物的量。

6.3.2.2 GB 36600 中规定的第一类建设用地情景下,暴露人群包括未来在地块内的活动儿童和成人。该标准中规定的第二类建设用地情景下,暴露人群主要为未来在地块内活动的成人。

6.3.2.3 不同用地情景下暴露人群相关暴露参数(如暴露频率、暴露周期、土壤摄入量、体重等)可参照 HJ 25.3-2014 的附录 G 进行取值,且可根据地块所在区域人群实际暴露条件进行优化(如依据气候条件优化暴露频率等)。模型参数优化过程及依据,应在风险评估报告中说明。

#### 6.3.2.4 摄入量计算

- a) 经口摄入污染物量按式(1)计算:

$$EDI_{\text{直接摄入}} = IVBA \cdot \frac{CS \cdot IR_{\text{soil}} \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

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

- IVBA* ——土壤中化学物质的人体可给性，无量纲，默认值为1，也可通过附录C测试计算获得；  
*CS* ——暴露点土壤中化学物质浓度，单位为毫克每千克（mg/kg）；  
*IR<sub>soil</sub>* ——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）。

b) 皮肤接触摄入污染物量用式（2）计算：

$$EDI_{\text{皮肤接触摄入}} = \frac{CS' SA' AF' ABS' EF' ED}{BW' AT} \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- EDI<sub>皮肤接触摄入</sub>* ——皮肤接触摄入土壤中污染物量，单位为毫克每千克天（mg/（kg·d））；  
*CS* ——暴露点土壤中化学物质的浓度，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，单位毫克每平方厘米（mg/cm<sup>2</sup>）；  
*ABS* ——皮肤吸收率，%；  
 其他符号同上。

c) 吸入土壤尘而摄入污染物量按式（3）计算：

$$EDI_{\text{土壤尘吸入}} = \frac{CS' (1/PEF)' IR_{\text{air}}' EF' ED}{BW' AT} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- EDI<sub>土壤尘吸入</sub>* ——呼吸吸入土壤尘中污染物量，单位为毫克每千克天（mg/（kg·d））；  
*CS* ——暴露点土壤中化学物质浓度，单位为毫克每千克（mg/kg）；  
*IR<sub>air</sub>* ——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。

d) 吸入挥发性有机物而摄入的污染物量按式（4）计算：

$$EDI_{\text{挥发性物质吸入}} = \frac{CA' IR_{\text{air}}' EF' ED}{BW' AT} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- EDI<sub>挥发性物质吸入</sub>* ——吸入挥发性污染物量，单位为毫克每千克天（mg/（kg·d））；  
*CA* ——土壤中污染物挥发造成暴露点空气中污染物浓度，单位为毫克每立方米（mg/m<sup>3</sup>）；  
 其他符号同上。

e) 土壤中污染物挥发造成的空气中污染物浓度可按式（5）计算：

$$CA = CS' VF_s' 1000 \dots\dots\dots (5)$$

DB11/T 656—2019

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 ——暴露点土壤中污染物质浓度，单位为毫克每千克（mg/kg）；

VF<sub>s</sub> ——土壤污染物质至空气中的挥发性因子（不同情景下的VF<sub>s</sub>计算方法参见附录G），单位为克土每立方厘米空气g（土壤）/cm<sup>3</sup>（空气）。

f) 地下水中污染物挥发造成的空气中污染物质浓度按式（6）计算：

$$CA = CW \cdot VF_{gw} \cdot 1000 \dots\dots\dots (6)$$

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>）；

CW ——暴露点地下水中污染物质浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

VF<sub>gw</sub> ——地下水中污染物质至空气中的挥发性因子（不同情景下的VF<sub>gw</sub>计算方法参见附录F），单位为立方厘米水每立方厘米空气（cm<sup>3</sup>（水）/cm<sup>3</sup>（空气））。

g) 由土壤气中污染物挥发造成的空气中污染物质浓度的计算可参见 DB11/T 1278。

h) 饮用地下水摄入的污染物质按式（7）计算：

$$EDI_{\text{饮水摄入}} = \frac{CW \cdot IR_{\text{water}} \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

EDI<sub>饮水摄入</sub> ——饮水摄入污染物质量，单位为毫克每千克天（mg/（kg·d））；

CW ——暴露点饮用水中污染物浓度，单位为毫克每升（mg/L）；

IR<sub>water</sub> ——饮用水摄入量，单位为升每天（L/d）；

其他符号同上。

i) 某种污染物不同暴露方式的总摄入量按式（8）计算：

$$EDI_i = EDI_{\text{直接摄入}} + EDI_{\text{皮肤接触摄入}} + EDI_{\text{土壤尘吸入}} + EDI_{\text{挥发性物质吸入}} + EDI_{\text{饮水摄入}} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

EDI<sub>i</sub> ——某种污染物不同暴露方式下的摄入量，单位为毫克每千克天（mg/（kg·d））；

其它符号同上。

6.3.2.5 迁移转化模型

污染物和暴露点不在同一位置时，应采用相应扩散模型确定暴露点介质中污染物的暴露浓度：

- a) 土壤、地下水中挥发性污染物迁移至地表后在大气环境中的扩散可采用 HJ 2.2 中的相关模型进行预测。
- b) 污染物在地下水中的迁移扩散可采用 HJ 610 中的相应模型进行预测。
- c) 计算挥发性有机物呼吸暴露途径下暴露点的浓度时，应采用土壤中相应污染物浓度检测结果，结合迁移转化模型进行预测，可参照 DB11/T 1278 的相关规定执行。
- d) 评估地块土壤和地下水中易生物降解的挥发性有机物（如苯、石油烃等）呼吸暴露途径的健康风险时，可依据现场测试结果，采用耦合生物降解过程的迁移转化模型预测暴露点的浓度，可按照 DB11/T 1278 的相关要求执行。

- e) 迁移转化模型中使用到的地块特征参数（如土壤理化参数、水文地质参数、气象参数、污染物土-水分配系数等），应通过初步调查和详细调查阶段现场勘查获得，参数测试统计结果作为报告的技术附件。

### 6.3.3 毒性评估

定量毒性参数包括计算致癌风险的致癌斜率因子（非挥发性有机污染物）、致癌风险参考浓度与单位致癌斜率因子（挥发性有机污染物），以及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），可参照HJ 25.3-2014的附录B进行取值。

### 6.3.4 风险表征

6.3.4.1 主要工作内容是综合危害识别、暴露评估和毒性评估工作成果，采用剂量-效应模型定量计算关注污染物的健康风险水平。

6.3.4.2 致癌风险水平是通过将污染物平均到整个生命期内平均每天的摄入量乘以经口、经皮肤或呼吸吸入致癌斜率系数计算得出，计算方法如式（9）：

$$HR_i = EDI_i \cdot SF \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$HR_i$  ——某种污染物不同摄入途径的致癌风险水平，无量纲；

$EDI_i$  ——某种污染物平均到每天不同途径的摄入量，单位为毫克每千克天（ $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ）；

$SF$  ——各种暴露方式下污染物的致癌风险斜率因子，（ $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ）<sup>-1</sup>。

6.3.4.3 对于因呼吸吸入挥发性污染物引起的致癌风险也可用单位致癌风险因子计算，计算方法如式（10）：

$$HI_i = EDI_i \cdot \frac{BW}{IR_{air}} \cdot URF \cdot 1000 \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$HI_i$  ——某种污染物因吸入挥发性有机物引起的致癌风险，无量纲；

$BW$  ——体重，单位为千克（ $\text{kg}$ ）；

$URF$  ——吸入途径的单位致癌风险因子，（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）<sup>-1</sup>；

其它符号同上。

6.3.4.4 每种污染物的总致癌风险等于各种暴露途径下致癌风险水平的总和。

6.3.4.5 非致癌风险水平可通过将污染物平均到整个暴露作用期的每天摄入量除以每一种暴露方式的慢性参考剂量来计算，计算方法如式（11）：

$$HI_i = \frac{EDI_i}{RfD} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$HI_i$  ——不同摄入途径的非致癌风险水平，无量纲；

$RfD$  ——各类暴露方式的慢性参考剂量，毫克每千克天（ $\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ）；

其它符号同上。

6.3.4.6 对于因呼吸吸入挥发性污染物引起的非致癌风险也可以用呼吸参考浓度计算，计算方法如下式（12）：

$$HI_i = EDI_i \cdot \frac{BW}{IR_{air} \cdot RfC} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$RfC$ ——吸入方式的非致癌参考浓度，单位为毫克每立方米（ $mg/m^3$ ）；  
其他符号同上。

6.3.4.7 每种污染物总的非致癌风险等于各种暴露途径非致癌风险水平的总和。

6.3.4.8 铅的健康风险水平可采用相关儿童或成人血铅模型进行评估。

6.3.4.9 可采用蒙特卡洛等统计模拟方法开展概率风险计算，并以计算结果累积频率曲线中 95%分位数对应的风险值作为关注污染物的健康风险评估结果，但报告中应明确概率风险计算过程中相关参数分布取值信息及依据。概率风险评估的具体方法流程可参照附录 H。

#### 6.4 环境风险评估

6.4.1 土壤中污染物检出浓度超过基于保护地下水的土壤风险筛选值，且地块范围内地下水作为饮用水或地块位于集中式地下水型饮用水源（包括已建成的在用、备用和应急水源，在建或规划的地下水型饮用水源）保护区及补给径流区等敏感区域时，应进一步结合细化后的地块概念模型，评估其可能对地块范围内地下水造成污染的风险，可参照 DB11/T 1281 的相关规定执行。

6.4.2 地下水已被污染，可进一步结合细化后的地块概念模型，参照 HJ 610 中的相关技术要求开展地下水中关注污染物迁移扩散趋势模拟预测。

6.4.3 地下水中存在非水相液体（NAPL）时，应综合 NAPL 的厚度和面积的变化趋势、组分、运动粘度等理化特性、导油率、含油层土壤理化特性、污染物扩散通量、地下水污染羽变化趋势等参数测试与分析结果，评估其迁移扩散风险。

#### 6.5 确定风险管控目标

6.5.1 通过风险评估判断地块土壤、地下水污染存在风险时，可结合地块具体的污染状况、风险水平、水文地质条件等因素，采用风险管控的方式将风险控制在可接受水平。

6.5.2 应结合关注污染物的关键暴露途径、暴露方式、迁移转化规律、水文地质条件、地块开发建设方案等因素确定风险管控目标，如采用阻隔方式切断污染物与暴露人群的接触、建设止水帷幕阻止污染物进一步迁移扩散、限制地块用地功能以控制人群暴露频率与周期等。

#### 6.6 确定修复目标值

6.6.1 通过风险评估判断地块土壤、地下水污染存在风险且拟通过修复将风险控制在可接受水平的污染地块，应确定可接受风险水平条件下关注污染物的最终修复目标值。

##### 6.6.2 可接受风险水平

6.6.2.1 单一污染物所有暴露途径下的致癌可接受风险水平一般为  $10^{-6}$ ，非致癌性污染物所有暴露方式下的可接受危害熵一般为 1。

6.6.2.2 可调查地块所在区域人群膳食等背景暴露资料对可接受危害熵进行修正，但不应小于 0.5。

6.6.2.3 关注污染物在饮用水标准或空气质量标准中已有相应浓度限值时，可通过此限值并结合人群对应的暴露特征，反推与饮用水、空气质量标准等同的可接受风险水平，并以此可接受风险水平作为制定关注污染物修复目标值的可接受风险水平。

6.6.2.4 污染物迁移扩散可能对周边地下水造成污染的风险可接受水平为污染物迁移扩散后不会损害周边土壤、地下水和地表水等环境介质的使用功能，或对周边敏感受体造成的健康风险可接受。

### 6.6.3 修复目标值

6.6.3.1 以风险可接受水平作为基准，结合关注污染物在地块中的空间分布、赋存形态、迁移归趋特征等因素，按照风险评估确定的暴露情景反推计算关注污染物可接受风险水平条件下的允许浓度。在此基础上，进一步结合当地的法律法规与国内外相关标准、修复技术的可行性、经济性、公众可接受性、关注污染物背景浓度等因素，确定地块中关注污染物的修复目标值。

6.6.3.2 可参照 HJ 25.3 中的相关技术要求计算确定地块中关注污染物的修复目标值。

6.6.3.3 最终确定的土壤中关注污染物的修复目标值，不应高于 GB 36600 中对应用地情景下的风险管制值。

6.6.3.4 最终确定的地下水中关注污染物的修复目标值，应满足：

- a) 污染地块位于集中式地下水型饮用水源（包括已建成的在用、备用、应急水源，在建和规划的水源）保护区及补给区（补给区优先采用已划定的饮用水源保护区），选择 GB/T 14848 中 III 类限值作为修复目标值。对于 GB/T 14848 未涉及的目标污染物，按照饮用地下水的暴露方式计算地下水风险控制值作为修复目标值，风险控制值按照本导则确定；
- b) 具有工业和农业用水等使用功能的地下水污染区域，按照 GB/T 14848 要求，制定修复目标值。对于 GB/T 14848 未涉及的目标污染物，采用风险评估的方法计算风险控制值作为修复目标值，风险控制值按照本导则确定；
- c) 不具有工业和农业用水等使用功能的地下水污染区域，采用风险评估的方法计算风险控制值作为修复目标值，风险控制值按照本导则确定；
- d) 当地下水污染影响或可能影响土壤和地表水体等，根据 GB 36600 和地表水（环境）功能要求，基于污染模拟预测、风险评估结果，同时结合本条款中 b) 或 c) 的情形从严确定地下水修复目标值；
- e) 当选择相关标准或按本导则确定的污染地块地下水修复目标值低于地下水环境背景值时，可选择背景值作为修复目标值。

6.6.3.5 采用固化稳定化等降低关注污染物活性的技术进行修复的土壤，修复目标值的确定应考虑浸出特性及人体可给性。

## 6.7 划定风险管控与修复范围

6.7.1 将初步调查和详细调查阶段的采样分析结果绘制成等值线图，结合风险评估过程中暴露单元的划分状况、风险评估结果、地块环境管理策略、地块风险管控目标及修复目标值，初步确定地块风险管控和修复范围。

6.7.2 等值线图不能充分反映地块实际情况时，可结合采样点位置、生产设施分布及污染物的迁移转化规律修正地块风险管控和修复范围。

6.7.3 应根据不同深度的污染程度分别划定地块风险管控和修复范围。

**DB11/T 656—2019**

**6.7.4** 污染调查过程的采样不能满足划定地块污染风险管控/修复范围的要求时，应补充采样。

## **6.8 不确定性分析**

采用参数定值模型进行风险评估的，应对风险评估过程中暴露浓度计算、暴露途径分析、相关模型参数取值等环节进行不确定性分析。

## **6.9 风险评估报告编制**

建设用地土壤污染状况风险评估报告编写内容参照附录F.4。

附 录 A  
(资料性附录)  
地下和地上储藏池(库)调查示例表

A.1 地下和地上储藏池(库)的一般信息调查表见表A.1

表A.1 地下和地上储藏池(库)的一般信息调查表

储藏池(库)编号	地下或地上储藏池(库)	地点	用途	运营或使用状况 <sup>a</sup>	建造时间

注：对有毒有害物质的储藏池(库)，应填写专门地下和地上储藏池(库)调查表格，见地下或地上储藏池(库)调查表。

a 正在使用或已废弃。

A.2 地下或地上储藏池(库)调查表见表A.2

地下或地上储藏池(库)应调查如下内容：

- a) 数量：地下储藏池(库)的数量；地上储藏池(库)的数量。
- b) 位置：附地块平面或设施平面图，并描述储藏池(库)的位置，包括储藏池(库)周围的地下水监测井、水池、污水管线、公共设施管线和雨水管线等。
- c) 业主及储藏池(库)的管理。

注：按表A.2填写，可增加空行。

表A.2 地下或地上储藏池(库)调查表

储藏池(库)编号	地下或地上储藏池(库)	产权单位	使用单位	产权单位与使用单位的关系

d) 储藏池（库），按表 A.3 填写。

表A.3 储藏池（库）

储藏池 (库)编号	储藏 容量	储藏池(库) 建筑材料	管线 材料	存放 物品	储藏是否符合有关标 准(标准名称)	防渗 层	泄 漏 监 视系统 <sup>a</sup>	是否发生泄 漏事件(是/否)	泄漏后采取 的行动 <sup>b</sup>
<sup>a</sup> 泄漏监视系统：(a) 空隙监视，(b) 挥发物监视，(c) 地下水监视，(d) 储藏池（库）密封性监视，(e) 人工或自动库存监测，(f) 储藏物品库存控制监视。 <sup>b</sup> 泄漏后采取的行动：(a) 泄漏事故调查，(b) 应急治理，(c) 消除污染土壤，(d) 收集挥发物，(e) 填实填料，(f) 其他。									

e) 是否有关闭停止使用储藏池（库）的情况：是  否

f) 是否有地下水监测井：是  否

g) 是否有最近两年保存完好的监测数据或报告：是  否  如有，列出报告名称，见表 A.4。

表A.4 最近两年保存完好的监测数据或报告

文件名称	文件编制日期

附 录 B  
(资料性附录)  
土壤气挥发性通量测试方法

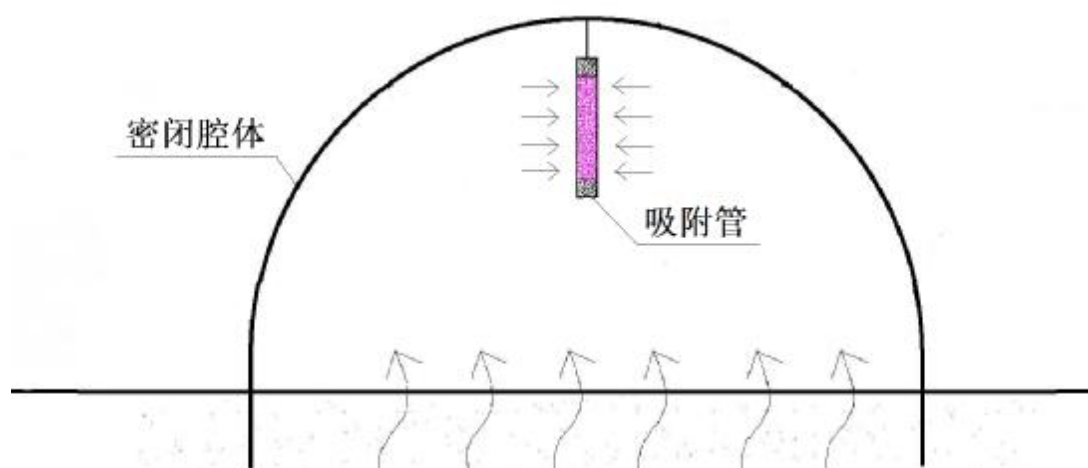
### B.1 通量测试点选择及测试频率

B.1.1 应在存在挥发性有机物污染的区域开展挥发通量测试，每个污染区域的测试点位数不应少于3个，并可结合污染区面积酌情增加。具体的测试点位，应选择在地面未硬化的区域。

B.1.2 地块污染状况调查评估期内，开展不少于4次挥发通量测试，且应涵盖地块所在区域每年的最不利气象条件。可将每个区域连续4测通量测试结果平均值95%置信上限值作为该区域关注污染物的挥发通量，进行风险分析与评估。

### B.2 通量测试装置

可采用被动通量仪开展土壤气挥发通量测试，如图 B.1 所示。通量测试仪的密闭腔体应为惰性且具有一定刚度的材质，腔体底面直径和高度均不宜大于 20 cm，腔体内的吸附管应为高吸附速率的柱形或球形吸附管。



图B.1 被动通量仪结构示意图

### B.3 通量测试仪现场安装

被动通量测试仪现场安装步骤如下：

- a) 结合地块特征污染物类型，选定相应的吸附管，并将其固定于腔体内；
- b) 将固定吸附管后的腔体，固定于选定的通量测试点。通常通量测试点应选择在选择区域地势较高的点位，避免测试期间地表积水淤积在测试腔体内，影响测试结果；
- c) 通量测试仪现场安装时间根据污染源强及吸附管的吸附容量确定，通常为 15 d；
- d) 满足设计安装时间后，将被动式吸附管从通量仪中取出并保存至密闭的容器内，直至送至实验室进行污染物检测时方可从密闭容器内将吸附管取出。吸附管中关注污染物的具体检测方法可参照 HJ 644 执行。

### B.4 通量计算

可采用式B.1计算测试点每次监测过程中关注污染物的挥发通量。

$$Flux = \frac{M}{S \cdot t} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

*Flux* ——测试点关注污染物挥发通量， $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ ；

*M* ——为通量测试仪腔体内吸附管上吸附的关注污染物的质量， $\mu\text{g}$ ；

*S* ——被动通量测试仪底面面积， $\text{m}^2$ ；

*t* ——通量仪器现在安装时间， $\text{min}$ 。

## B.5 质量控制与保证

被动通量测试过程中的质量控制与保证措施要求如下：

- a) 吸附管每次使用前应进行老化消除本底污染，且老化后应保存于密闭的容器内，直至现在安装过程中方可将其取出保存容器；
- b) 现场测试技术后，从通量测试仪器中收集的吸附管，应立即保存至清洁密闭的容器中，直至送至实验室进行污染物检测；
- c) 每 10 个测试点或每批次（少于 10 个测试点/批）应设置 1 个平行测试点；
- d) 应在每个批次运输的样品中设置 1 个运输空白样。

附 录 C  
(资料性附录)  
土壤中砷、铅人体可给性测试方法

### C.1 适用范围

本方法适用于土壤中铅、砷的体外人体可给性测试，不适用于磷酸盐处理的土壤，要求土壤中总铅浓度不超过 5000 mg/kg，总砷浓度不超过 13000 mg/kg。

### C.2 方法原理

对土壤样品进行干燥研磨等预处理后，过筛至粒径为 150  $\mu\text{m}$  以下。准确称取 1.000 g 土壤，在 37 $^{\circ}\text{C}$  下，用 100 mL 的 0.4 M 甘氨酸缓冲液消化混合 1 h，将混合液过滤后提取上清液，分析上清液中的砷或铅含量。

### C.3 试剂和材料

C.3.1 除非另有说明，本方法所有试剂应使用符合国家标准的分析纯试剂，所有试剂均不含铅或砷。实验用水为去离子水。

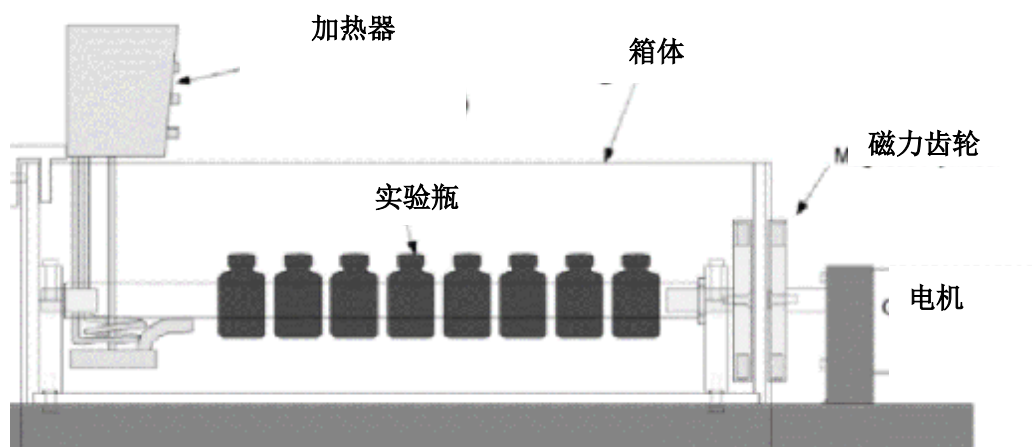
C.3.2 甘氨酸萃取液（无碱的去离子水和试剂级甘氨酸配制）：称取  $(60.06\pm 0.05)$  g 甘氨酸用 1.9 L 的去离子水溶解于容量瓶中，溶液也可以盛于广口高密度聚乙烯（HDPE）瓶中，将含有萃取液的高密度聚乙烯瓶在水浴中加热至恒温 37  $^{\circ}\text{C}$ ，使用 37  $^{\circ}\text{C}$  的自动温度补偿电极或在水浴中保持 37  $^{\circ}\text{C}$  的 pH 缓冲器测量溶液 pH，并用微量浓盐酸调节溶液 pH 值为  $1.0\pm 0.05$ ，最终使溶液体积定容为 2 L。萃取液在使用前必须加热到 37  $^{\circ}\text{C}$ ，并调剂 pH 值为 1.0。

C.3.3 本方法所用使用的玻璃器皿和设备在使用前必须进行清洗、酸洗和去离子水三次清洗。

### C.4 仪器和设备

C.4.1 本方法建议使用水浴加热（图 C.1）或者空气浴加热。

C.4.2 水浴加热设备：应保证水浴加热装置能够完全浸没 125 mL 的 HDPE 瓶，使温度保持在  $(37\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，并对温度进行监测和记录。驱动电机功率能够达到  $(30\pm 2)$  r/min。



图C.1 水浴加热提取装置

C.4.3 空气浴加热设备：应保证装置能够容纳125 mL的HDPE瓶，使温度保持在 $(37\pm 2)$  °C，并对温度进行监测和记录。驱动电机功率能够达到 $(30\pm 2)$  r/min。

C.4.4 广口高密度聚乙烯瓶（HDPE）瓶：容积为125 mL，配有密闭的螺旋盖可进行密封。使用时应保证瓶子密封不漏水，在萃取过程中尽量避免瓶子污染。

C.4.5 自动温度控制补偿（ATC）pH电极：测量实验前后萃取液的pH值。

### C.5 土壤样品的制备和保存

土壤样品应在低于40 °C条件下进行干燥，干燥后的土壤进行充分研磨后，使用不锈钢筛子过筛至粒径150 μm以下。制备好的样品可在不添加防腐剂或其他特殊条件下贮存6个月。在使用称量时应精确到0.0001 g。

### C.6 测试步骤

该方法所用的萃取液为0.4M甘氨酸溶液，使用前应在 $(37\pm 2)$  °C下用微量浓盐酸调节pH值为 $1.00\pm 0.05$ ，具体测试步骤如下所述：

- 在实验进行前将毒性特征浸出方法（TCLP）萃取器、水浴或孵化器设备预热到37 °C，并记录每一次萃取批次开始和结束时的温度；
- 土壤样品应进行充分的混匀，然后才能进行萃取，以确保萃取时的均匀化（即用X、Y、Z运动旋转样品瓶）；
- 在进行萃取时，首先将 $(1.00\pm 0.05)$  g的干燥过筛后的土壤样品（粒径 $<150$  μm）放入125 mL广口高密度聚乙烯瓶中，记录所称量的土壤质量（精确到0.0001 g）。同时应注意确保瓶口的静电不会使土壤颗粒附着在瓶口或外螺纹上，若有必要应在添加测试基板之前使用防静电刷来消除瓶口的静电；
- 准确量取 $(100.0\pm 0.5)$  mL的0.4 M甘氨酸萃取液（pH=1.0）转移到125 mL广口高密度聚乙烯瓶中，将瓶盖拧紧密封，然后摇晃或倒置确保无渗漏，瓶底无块状固体样品；
- 将HDPE瓶放入已经预热好的加热装置中，进行加热萃取；

注：装入含有测试材料或质量控制样品的125 mL瓶。记录旋转开始时间。应注意防止样品在旋转过程中受到污染（例如，在盖周围的螺纹中获得浴缸水，并在取下盖子时可能进入样品中）。实验室可能考虑的预防推荐措施：使用的瓶子类型，在安装水浴萃取器之前将样品密封在塑料冷冻袋中，并将空气排出，或用胶带或Parafilm密封

瓶子。

- f) 样品在  $(30 \pm 2)$  r/min 条件下旋转 2 h 进行反应；
- g) 运行 2 h 后将样品瓶取出晾干，然后静置使反应液中的固体全部沉降。用一次性注射器从样品瓶中取出 40 mL 的上清液，在安装有  $0.45 \mu\text{m}$  醋酸纤维素圆盘过滤器（直径 25 mm）的装置中进行过滤，从过滤后不含任何杂质的滤液中吸取 15 mL 液体，转移到经过酸洗的聚丙烯离心管或其他适当的样品瓶中进行分析；
- h) 对最终完成过滤并进行取样的结束时间进行记录。如果提取样和过滤过程所需的总时间超过 90 min，则必须重新进行实验；
- i) 分析和记录样品瓶中残留液体的 pH 值。如果液体 pH 值与起始 pH 值相差大于 0.5 个 pH 单位，则需要重新进行实验，并对样品进行重新分析。在某些情况下（主要是矿渣土），试验材料可能会提高萃取缓冲液的 pH 值，从而影响人体可给性的测定的结果。为预防这种情况，应在对滤液取样操作结束时（在抽取反应液进行过滤和分析后）监测液体的 pH 值。如果 pH 值与初始 pH 值（1.0）相差大于 0.5 个 pH 单位，则需要重新进行样品分析。如果第二次分析检测的 pH 值也导致 pH 值与初始 pH 值（1.0）相差依然大于 0.5 个 pH 单位，则可以认为样品造成了缓冲了萃取液的 pH 值。在这些情况下，应在萃取过程中使用手动调整 pH 值的方法进行重复实验，在 5min、10min、15min 和 30 min 时停止萃取，在停止时通过滴加 HCl，手动调整 pH 值至 1.0；
- j) 将过滤后的滤液存放在  $(4 \pm 2)$  °C 的冰箱中进行保存待测。用 ICP-AES 或 ICP-MS 对过滤后滤液样品进行铅、砷分析。对于铅，萃取液的方法检出限不宜高于为  $20 \mu\text{g/L}$ 。对砷，萃取液中砷的浓度应在  $20 \sim 40 \mu\text{g/L}$  左右，方法检出限不宜  $5 \mu\text{g/L}$ 。

注1：在某些情况下，萃取物中的高溶解固体（如氧化铁）可能会影响 ICP-OES 或 ICP-MS 的雾化器性能。在这种情况下，建议在分析前对待测液稀释 10 倍。另外，高固体含量的喷雾器也可能有用。由于待测液中含有大量的 HCl，因此应避免使用石墨炉原子吸收分光光度法（GFAA）。

注2：在某些情况下，样品中的铅含量可能会导致萃取液过饱和，萃取反应停止。如果萃取液中铅的浓度超过约  $500 \text{ mg/L}$ （取决于样品基质和矿物学），则可能已达到这一上限。因此不建议对总铅浓度超过  $50000 \text{ mg/kg}$  的土壤进行人体可给性分析，以避免萃取液的过饱和。

## C.7 样品测试及可给性计算

C.7.1 首选国家标准和规范中规定的检测方法对实验土样和萃取液中目标污染物浓度进行检测，国内暂无标准分析方法的项目可参考对应国际标准方法。

C.7.2 测试样品中目标污染物的人体可给性可采用式C.1计算。

$$\text{人体可给性 (IVBA)} = \frac{C_{\text{ext}} \cdot V_{\text{ext}}}{\text{Soil}_{\text{conc}} \cdot \text{Soil}_{\text{mass}}} \quad \dots\dots\dots \text{(C.1)}$$

式中：

- $C_{\text{ext}}$  —— 铅、砷在萃取液中的浓度（mg/L）
- $V_{\text{ext}}$  —— 萃取液体积（L）
- $\text{Soil}_{\text{conc}}$  —— 测试过程中土壤样品中铅、砷的浓度（mg/kg）
- $\text{Soil}_{\text{mass}}$  —— 测试过程中所有土壤样品的质量（kg）

注：样品检测过程中如果进行了稀释，应该对计算结果进行适当的校正。

## C.8 质量保证和质量控制

**DB11/T 656—2019**

**C.8.1** 每20个样本或每批次（少于20个样本/批）至少分析1个试剂空白，如果试剂空白样中的目标污染物浓度小于检出限，表明试剂可用。否则，应对试剂进行净化或更换更纯净的试剂。

**C.8.2** 平行样品：每10个样本中应至少设置3个平行样，平行样品测定结果的相对偏差应小于20%。每个批次平行样相对偏差若存在超过20%的现象，如无法解释其原因，该批次样品的测试结果作废，需重新测试。

附 录 D  
(资料性附录)  
土壤采样技术

### D.1 钻探技术

用于地块污染状况调查的钻探技术需结合地块所在地区的地质条件、地块钻探的作业条件和地块污染状况调查方案的要求来选择经济有效的钻探方法。表D.1列出北京市地块污染状况调查过程中常用的钻探方法及其优缺点。

表D.1 常用的地块钻探方法

勘探方法	优点	缺点
探坑法： 采用人工挖掘（深度一般不超过 1.2 m，除非有足够安全的支护措施）或采用轮式/履带式的挖掘机（最大深度约为 4.5 m）。	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 可从平面 (x,y) 和深度 (d) 三维的角度来描述地层条件。</li> <li>(2) 易于取得大试样。</li> <li>(3) 成效快且造价低。</li> <li>(4) 可采集未经扰动的试样。</li> <li>(5) 适用于多种地面条件。</li> </ul> 通过挖掘可以观察到土壤的新鲜面，记录颜色和岩性等基本信息，可以给开挖出来的土样拍照，并记录照片信息。	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 挖掘深度会受挖掘机械的规格限制。</li> <li>(2) 污染物存在和运移的媒介暴露于空气中，会造成污染物变质及挥发性物质的挥发。</li> <li>(3) 不适合在地下水位以下取样。</li> <li>(4) 对地块的破坏程度较大，需要特别注意，防止挖掘出来的污染土壤再次污染周围区域的土壤，因此挖出的污染土壤需要进行处理，减少污染物质暴露带来的二次污染。</li> <li>(5) 与钻孔勘探方法相比，这种方法产生的弃土较多。</li> <li>(6) 污染物更易于传播到空气或水体当中。并需要回填清洁材料（以达到地面恢复目的）。</li> </ul>
手工钻探法： 采用人工操作，最大钻进深度一般不超过 1 m。	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 可用于地层校验和采集设计深度的土样。</li> <li>(2) 适用于松散的人工堆积层和第四纪沉积的粉土、黏性土地层，即不含大块碎石等障碍物的地层。</li> <li>(3) 对于难以进入的地块，本法比较方便有效。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 受地层的坚硬程度和人为因素影响较大，当有碎石等障碍物存在时，则很难继续钻进。</li> <li>(2) 由于会有杂物掉进勘探孔中，可能导致土样交叉污染。</li> <li>(3) 只能获得体积较小的土样。</li> </ul>
钢索冲击钻探法	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 与探坑或手工钻探法相比，此种方法能够达到的钻进深度更深。</li> <li>(2) 可建成永久的取水样/水位监测井。</li> <li>(3) 可穿透多种地层。</li> <li>(4) 对健康安全和地面环境的负面影响较小。</li> <li>(5) 可以采集未经扰动的试样。</li> <li>(6) 可采集到完整的试样，包括污染物分析试样、岩土工程勘察试样、气体/地下水试样，可用于地下水和地下气体监测井建井。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 与探坑或用手螺旋钻探法相比，此种方法成本高，耗时长。</li> <li>(2) 不如探坑法获得地层的感性认识直观。</li> <li>(3) 需要处置从钻孔中钻探出来的废弃物。</li> <li>(4) 没有探坑法采集的试样体积大。</li> <li>(5) 这种技术会扰动土样，并使污染物质流失。</li> </ul>

表D.1 常用的地块钻探方法（续）

勘探方法	优点	缺点
液压动力锤干式旋转冲击钻探法	<p>(1) 干式旋转冲击钻进技术适用于多种岩性的地层，包括岩层。</p> <p>(2) 冲击与旋转钻进相结合可以减小土芯热效应的影响。</p> <p>(3) 可以获得长度大于 1 米的原状岩芯样。</p> <p>(4) 如果土层中不含卵石，也可以使用空心螺旋钻杆和劈式勺钻取样器。</p>	<p>(1) 旋转钻进会产生土芯热效应。</p> <p>(2) 干式钻进对钻头的磨损比较大，由此产生的成本相对较高。</p>

## D.2 钻探记录要求

土壤的粒径分布、潮湿程度等物理性质影响着污染物迁移的速度和范围，土壤的颜色和气味反映了土壤污染的状况和类型，可为土壤污染识别提供重要信息。这些土壤物理性状可以通过现场手感、目测、闻味或简易试验进行判断。土壤现场钻探记录单具体格式参见表D.2。

### a) 采样位置

应采用全站仪、水准仪或高精度GPS等测量采样点坐标和高程，描述采样点地表状况（如：是否有植物、路面等覆盖物），采用照相记录。

### b) 过程描述

采样过程应记录采样时间、采样工具和方法、钻进难易程度、护壁方式、钻孔和取样工具的清洁操作、取样后对废土的处理及取样孔或坑的恢复等。

### c) 岩性描述

包括颗粒级配，粗颗粒形状、母岩成分、风化程度、是否起骨架作用，充填物的性质、湿度、充填程度，密实度，层理特征等。岩土体按照GB 50021分类和定名，土壤粒径按照GBJ 145分类。

### d) 污染痕迹

包括岩土体的名称、颜色、密度、湿度、稠度、断面状态、含有物、野外强度、污染特征及PID数据。在钻进过程中应将钻孔中所发现的油渍和设备清洗情况随时记录于现场工作记录单上。

### e) 初见水位信息

在钻探过程中遇见地下水，需准确量测地下水位，并记录初见水位和静止水位，没有静止水位的只记录初见水位，并记录水位量测的时间。

### f) 其它要求

勘探孔位如有移动，应在记录单中注明移位方向、尺寸及移动后孔位标高与原孔位处的相对高差。钻探过程的信息描述需由经过专业训练的人员承担；记录应真实及时，按钻进回次逐段填写，不应事后追记；钻探成果可用钻孔柱状图表示，亦可拍摄岩芯、土芯彩照纳入成果资料中。

表D.2 钻探采样记录单

项目名称:

层底 标高 m	钻进深度 m	变层深度 m	野外描述						钻进强度	套管长度 钻头种类	土壤采样			PID (ppm)
			岩性名称	颜色 气味	密度	湿度	稠度	断面状 态及含 有物			样品编号 及类型	样品深度 m	测试项目	

勘探孔编号\_\_\_\_\_ 采样位置\_\_\_\_\_ 移位\_\_\_\_\_ (m) 高差\_\_\_\_\_ (m)

地下水初见\_\_\_\_\_ (m) 静止\_\_\_\_\_ (m) 时间\_\_\_\_\_

开孔日期\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日\_\_\_\_\_午 天气\_\_\_\_\_ 温度\_\_\_\_\_

结孔日期\_\_\_\_\_年\_\_\_\_\_月\_\_\_\_\_日\_\_\_\_\_午 天气\_\_\_\_\_ 温度\_\_\_\_\_

取水样深度\_\_\_\_\_ (m) 量尺\_\_\_\_\_ 司钻\_\_\_\_\_ 记录\_\_\_\_\_ 采样\_\_\_\_\_ 检查\_\_\_\_\_

### D.3 剩余土的留存

D.3.1 钻探过程中，除按深度采集土样外，建议选择部分可以代表某一深度土层岩性和颜色的土装入岩芯箱留存，在条件有限情况下可考虑装入塑料袋中留存。当钻探结束后，若发现地层情况有任何异常，可以方便复查。留存的土应根据工程要求保存一定期限或长期保存。

D.3.2 一般情况下，建议岩芯箱的规格为1 m（长）×0.5 m（宽）×0.1 m（高），箱体上部开放、下部密封，中间用木板等间距分隔成五排。野外钻探时，将钻探出剩余的土按对应的深度放入岩芯箱内，在取土的位置，用标签纸插入箱内相应的位置处进行标识，箱外用防水笔标识岩芯箱的有关信息（采样点号及深度范围）。每个岩芯箱装满后，需在现场对其进行拍照，拍照时注意在箱边放置带有明显文字信息（采样点号及深度范围）的标识牌，并记录照片编号。最后采用适当方式封存岩芯箱，以防止水分流失或侵入。

D.3.3 如果现场不具备岩芯箱，也可以选择塑料袋留存剩余的土，同样选择部分有代表性的土放入塑料袋内，并在每个塑料袋中放入防水标签，标签上记录相应的采样点编号及土的深度。

### D.4 样品的保存与运输

D.4.1 土壤样品保存方式根据土壤样品分析项目不同而不同，对无机物通常用塑料瓶或玻璃瓶收集样品，挥发性和半挥发性有机物应使用具有聚四氟乙烯密封垫的直口螺口瓶收集样品。具体的土壤样品保存容器见表D.3。

表D.3 容器、保存技术、样品体积以及保存时间的要求

监测项目	容器 <sup>a</sup>	保存条件	样品最小体积或重量	最大保留时间
金属				
六价铬	P, G, T	4°C 低温保存	500 mL（水）； 120 g（土壤 <sup>b</sup> ）	24 小时（水）；萃取前 30 天， 萃取后 4 天（土壤）
汞	P, G, T	加 HNO <sub>3</sub> 使 pH<2, 4°C 低温保存	500 mL（水）； 120 g（土壤）	28 天（水和土壤）
其他金属（除六价铬和汞）	P, G, T	加 HNO <sub>3</sub> 使 pH<2, 4°C 低温保存	500 mL（水）； 120 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）； 120 g（土壤）	14 天（水或土壤）；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）； 120 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 <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2×40 mL（水）； 120 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）； 120 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）

表 D.3 容器、保存技术、样品体积以及保存时间的要求 (续)

监测项目	容器 a	保存条件	样品最小体积或重量	最大保留时间
除草剂	G, 用聚四氟乙烯密封瓶盖	4℃低温保存	1L (水); 120 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℃低温保存	1L (水); 120 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℃低温保存	1 L (水); 120 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℃低温保存	1 L (水); 120 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℃低温保存, 0.008 % Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 L (水); 120 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℃低温保存, 0.008% Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (对挥发性芳香烃加 HCl 使 pH<2) <sup>c</sup>	2×40 mL (水); 120 g (土壤)	14 天 (水和土壤); 无酸保护则为 7 天
<p>a 聚乙烯 (P); 玻璃 (G); 聚乙烯复合气泡垫 (T)。</p> <p>b 无需调节 pH 的土壤。</p> <p>c 只有当出现余氯时才需要保存 0.008% 的 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。</p>				

D.4.2 每份样品从采样到送至实验室都应该有一个完整的样品追踪监管程序, 主要包括: 样品的收集、运输、处理和相关人员的信息; 样品采集日期、时间、深度等记录数据; 样品分析项目等其他信息。样品流转清单样式可参考表D.4。

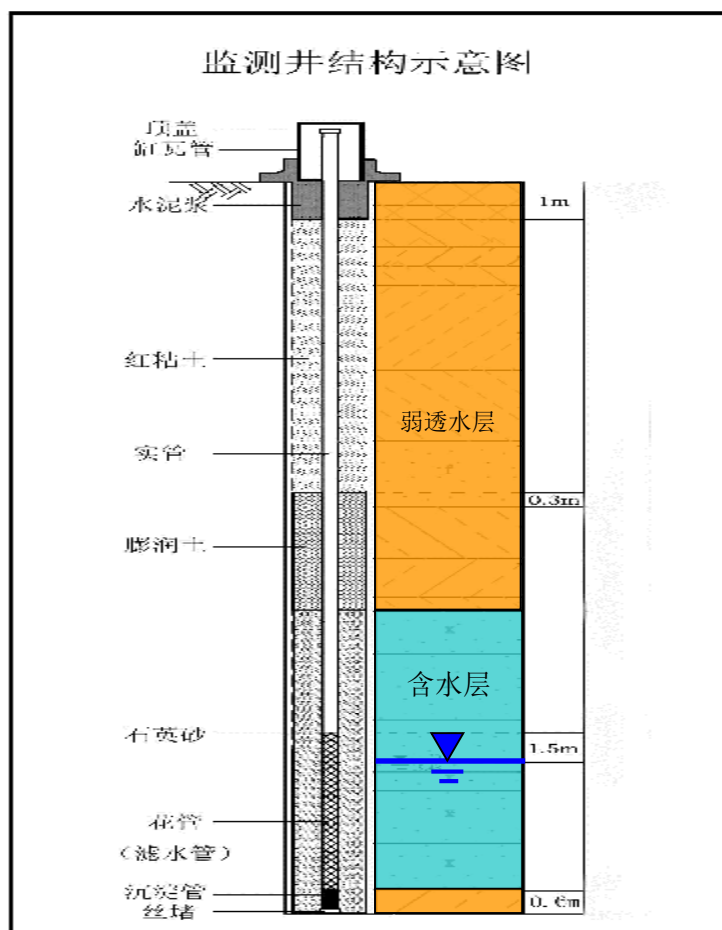


附录 E  
(资料性附录)  
地下水监测井建井与采样技术

### E.1 井结构与选材

#### E.1.1 井管结构

井管应由井壁管、过滤管和沉淀管等三部分组成。井壁管位于过滤管上，过滤管下为沉淀管。过滤管位于监测的含水层中，长度范围为从含水层底板或沉淀管顶到地下水位以上的部分，水位以上的部分要在地下水位动态变化范围内；沉淀管的长度一般为50 cm~60 cm，视弱透水层的厚度而定，沉淀管底部须放置在弱透水层内。地下水监测井示意图见图E.1。



图E.1 监测井结构示意图

#### E.1.2 井管直径及材质

E.1.2.1 井管的内径要求不小于50 mm，以能够满足洗井和取水要求的口径为准。

E.1.2.2 井管全部采用螺纹式连接，各接头连接时不能用任何粘合剂或涂料，推荐采用螺纹式连接井管。

E.1.2.3 井管材质因检测项目的不同而有所差异，各类检测项目的材质选择见表E.1。

表E.1 井管材质选择要求

检测项目类别	第一选择	第二选择	禁用材质
金属	聚四氟乙烯（PTFE）	聚氯乙烯（PVC）	304 和 316 不锈钢
有机物	304 和 316 不锈钢	PVC	镀锌钢和 PTFE
金属和有机物	无	PVC 和 PTFE	304 和 316 不锈钢

E.1.2.4 如果井深超过20 m时，需改用受压强度更高的井管。如果地下水监测井仅用来测定地下水水位的情况，可以使用热镀锌管作为井管。

### E.1.3 过滤管参数选择

过滤管上的空隙大小应足以防止90%的滤料进入井内，即其孔隙直径要小于90%以上的滤料直径。

## E.2 井孔钻探

E.2.1 钻孔的直径应至少大于井管外壁75 mm，以适合砾料和封孔黏土或膨润土的就位。

E.2.2 钻孔的深度依监测井所在场区地下水埋深、水文地质特征及含水层类型和分布而定，一般达到含水层底板以下50 cm或至少地下水含水层水位线下3 m，但不应穿透弱透土层。

E.2.3 监测井钻孔钻探达到要求深度后，应进行钻孔掏洗，清除钻孔中的泥浆、泥沙等，然后再开始下管。

## E.3 下管

下管前应校正孔深，确定下管深度、滤水管长度和安装位置，按下管先后次序将井管逐根丈量、排列、编号、试扣，确保下管深度和滤水管安装位置准确无误。下管作业应统一指挥，互相配合，操作要稳要准，井管下放速度不宜太快，中途遇阻时不准猛墩硬提，可适当地上下提动和缓慢地转动井管，仍下不去时，应将井管提出，扫除孔内障碍后再下。井管下完后，要用升降机将管柱吊直，并在孔口将其扶正、固定，与钻孔同心。

## E.4 填砾及止水

### E.4.1 填砾

E.4.1.1 砾料应选择质地坚硬、密度大、浑圆度好的白色石英砂砾为宜，易溶于盐酸和含铁、锰的砾石以及片状或多棱角碎石，不宜用作砾料。

E.4.1.2 砾料的砾径，应根据含水层颗粒筛分数据确定，可参照表E.2选用。

E.4.1.3 填砾的厚度宜大于25 mm，当观测孔用于抽水试验时，填砾厚度宜大于50 mm。

E.4.1.4 填砾的高度，自井底向上直至与实管的交接处，即含水层顶板。

表E.2 填砾的砾径选择

含水层类型	砂土类含水层	碎石土类含水层	
	$\eta_1 < 10$	$d_{20} < 2\text{mm}$	$d_{20} \geq 2\text{mm}$
砾径 (D) 的尺寸	$D_{50} = (6 \sim 8) d_{50\text{mm}}$	$D_{50} = (6 \sim 8) d_{20\text{mm}}$	$D = 10 \sim 20\text{mm}$
砾料的 $\eta_2$ 要求	$\eta_2 < 10$		
<p>注 1: 表中 <math>\eta_1</math> 为含水层的、<math>\eta_2</math> 为砾料的不均匀系数。即: <math>\eta_1 = d_{60}/d_{10}</math>; <math>\eta_2 = D_{60}/D_{10}</math>。</p> <p>注 2: <math>d_{10}, d_{20}, d_{50}, d_{60}</math> 和 <math>D_{10}, D_{50}, D_{60}</math> 分别为含水层试样和砾料试样, 分别在筛分中能通过筛眼的颗粒, 其累计重量占筛样全重依次为 10%, 20%, 50%, 60% 时的筛眼直径。</p>			

**E.4.1.5** 应避免滤料填充时形成架桥或卡锁现象, 可以使用导砂管将滤料缓慢输入管壁与井壁中的环形空隙内。滤料在回填前应冲洗干净 (由清水或蒸馏水清洗), 清洗后应使其沥干。

#### E.4.2 止水

**E.4.2.1** 止水材料必须具备隔水性好、无毒、无嗅、无污染水质等条件。建议选用球状膨润土回填。

**E.4.2.2** 止水部位应根据地块内含水层分布的情况确定, 选择有良好的弱透水层处。

**E.4.2.3** 止水的厚度至少从滤料往上 50 cm 和滤料下部 50 cm; 如果地块内存在多个含水层, 止水应为每个弱透水层及以上 30 cm 至弱透水层以下 30 cm 范围内必须用膨润土回填。

**E.4.2.4** 膨润土回填时要求每回填 10 cm 用水管向钻孔中均匀注入少量的水, 注意防止在膨润土回填和注水稳定化的过程中膨润土、井管和套管粘连。

#### E.5 井台构筑

**E.5.1** 井口处使用混凝土固定井管, 混凝土浇筑直从地面到膨润土回填上部。

**E.5.2** 井台构筑有两种形式: 一种是明显式井台, 井管地上部分约 30 cm~50 cm, 超出地面的部分采用红白相间的管套保护, 管套建议选择强度较大且不宜损坏材质, 如果在管套与井管之间有孔隙, 则注以水泥固定, 监测井井口用与井管同材质的丝堵或管帽封存。

**E.5.3** 另一种是隐蔽式井台, 原则上不超过自然地面 10 cm, 为方便监测时能够打开井盖, 建议在地面以下的部分设置直径比井管略大的井套套在井管外, 井套外再用水泥固定并筑成土坡状, 井套内与井管之间的环形空隙不填充任何物质, 以便于井口开启和不妨碍道路通行。

#### E.6 井位高程及坐标测量

建井完成后, 必须进行井位坐标测量及井管顶的高程测量。测量精度要能满足一般工程测量的精度即可。

#### E.7 设置标示牌

监测井需设置标示牌。标示牌上需注明监测井编号、井的管理单位和联系电话等信息。

## E.8 建井记录单

监测井编号：

钻探深度：

(m)

项目名称					
周边情况					
钻机类型		井管直径	(mm)	井管材料	
井管总长	(m)	孔口距地面高度	(m)	滤水管类型	
滤水管长度	(m)	建孔日期	自 年 月 日 开始		
沉淀管长度	(m)		至 年 月 日 结束		
实管数量 (根)	3 m	2 m	1 m	0.5 m	0.3 m
砾料起始深度	(m)				
砾料终止深度	(m)				
砾料 (填充物) 规格					
止水起始深度	(m)	止水厚度	(m)		
止水材料说明					
孔位略图	封孔厚度				
	封孔材料				
	护台高度				
	现场工程师				
	总工程师				
	日 期		年 月 日		

E.9 洗井记录单

项目名称: \_\_\_\_\_ 时 间: \_\_\_\_\_  
 地 点: \_\_\_\_\_ PID 钻孔孔口读数: \_\_\_\_\_  
 井 号: \_\_\_\_\_ 洗井体积  
 井 深: \_\_\_\_\_ (3 倍井中贮水体积): \_\_\_\_\_ (L)

时间	水位埋深 m	流量计读数 L/min	洗井体积 L	温度℃	pH	电导率 μS/cm	浊度 NTU	备注

注释: 井的状况描述\_\_\_\_\_

开始的时候和最后一次读数之间都要校准 pH 值。

取样人\_\_\_\_\_ 观测者\_\_\_\_\_





## E.12 地下水水样采集与运输

E.12.1 地下水样品的采集、保存、样品运输和质量保证等环节，总体上应满足HJ/T 164和HJ 1019中的要求。

E.12.2 用于测定VOC的水样用带塑料螺纹盖的40 mL小玻璃瓶（VOAvail）取样，加HCl至pH<2使其稳定。在测试VOC水样的取样小瓶中不允许存在顶空或者是大于6 mm的气泡。

E.12.3 用于测定总烃、杀虫剂、多环芳烃的水样用带塑料螺纹盖的棕色玻璃瓶保存，水样也必须注满容器，上部不留空隙。

E.12.4 用于测定可溶解的金属物质的水样在野外取样后需先过滤再将其装入200 mL的聚乙烯容器内，加HNO<sub>3</sub>至pH<2使其稳定。用于测定总金属含量的水样不需要过滤，也不用加稳定剂。

E.12.5 用于测定氰化物的水样应存放于250 mL的聚乙烯容器中，加NaOH至pH>12使其稳定。

E.12.6 用于测定其它水质指标的水样，应按相应要求采用符合要求的方式进行样品保存。

附录 F  
(资料性附录)

建设用地土壤污染状况调查与风险评估报告编写示例

F.1 建设用地土壤污染状况调查报告（污染识别）编写提纲示例

- 1 概述
  - 1.1 项目概况
  - 1.2 调查范围
  - 1.3 调查目的
  - 1.4 工作依据
  - 1.5 基本原则
  - 1.6 技术路线
- 2 地理位置及自然环境现状
  - 2.1 地理位置
  - 2.2 区域水文地质条件
  - 2.3 气相、气候条件
- 3 地块及周边土地利用状况
  - 3.1 现状及历史地块使用权人状况
  - 3.2 地块使用历史回顾
  - 3.3 地块土地利用现状
  - 3.4 用地规划
  - 3.5 周边土地利用状况概述
- 4 污染调查
  - 4.1 地块主要生产活动
    - 4.1.1 一般环境描述
    - 4.1.2 现状建筑
    - 4.1.3 生产工艺及规模
    - 4.1.4 生产设施及污染物排放
    - 4.1.5 罐、槽等储存设施及污水管线分布和污染
    - 4.1.6 实验室操作、使用和仪器
    - 4.1.7 主要设施记录表
    - 4.1.8 其他信息
  - 4.2 地块环境污染调查
    - 4.2.1 废水
    - 4.2.2 固体废物
    - 4.2.3 有毒有害化学物质
    - 4.2.4 污染事故调查
  - 4.3 周边环境调查
    - 4.3.1 环境敏感点分布
    - 4.3.2 潜在污染企业分布
    - 4.3.3 市政管网分布

(不限于以上内容, 可根据实际情况调整)

- 5 污染状况分析与判断
  - 5.1 潜在污染物迁移转化特征分析
  - 5.2 地块概念模型
  - 5.3 污染状况判断

## 6 结论和建议

### 附件

地块图件（包括平面布置图、工艺流程图、现场照片等）（必备）

地块使用权人变更记录

卫星遥感图像或航空图像有毒有害物质使用及设施清单

历年土壤、地下水监测数据

历年污染物排放监测数据

地块过去治理的有关记录

## F.2 建设用地土壤污染状况调查报告（初步调查）编写提纲示例

### 1 概述

- 1.1 项目概况
- 1.2 调查范围
- 1.3 调查目的
- 1.4 工作依据
- 1.5 基本原则
- 1.6 技术路线

### 2 污染识别（参考 F.1）

### 3 水文地质条件

- 3.1 地层结构
- 3.2 地下水分布
- 3.3 地下水水力特征（流速、流向、水位波动等）

### 4 布点采样

#### 4.1 布点采样方案

- 4.1.1 采样目的
- 4.1.2 采样点布置
- 4.1.3 采样深度
- 4.1.4 钻探采样方法
- 4.1.5 样品保存与运输
- 4.1.6 实验室检测（检测指标、方法等）
- 4.1.6 质量保证与控制

#### 4.2 现场采样

- 4.2.1 采样点信息
- 4.2.2 现场快速检测
- 4.2.3 送检样品信息

### 5 检测结果分析

- 5.1 风险筛选标准
- 5.2 土壤检测结果分析（包括结果统计与空间分布表征）

## DB11/T 656—2019

5.3 地下水检测结果分析（包括结果统计与空间分布表征）

5.4 土壤气检测结果分析（包括结果统计与空间分布表征）

## 6 地块概念模型

## 7 结论与建议

### 附件

采样点位置和深度分布图（必备）

现场钻探采样记录单（必备）

现场采样及岩芯照片（必备）

实验室检测报告（必备）

水文地质勘察报告、地层剖面图、成井结构图（必备）

实验室检测资质（必备）

## F.3 建设用地上壤污染状况调查报告（详细调查）编写提纲示例

### 1 概述

1.1 项目概况

1.2 调查范围

1.3 调查目的

1.4 工作依据

1.5 基本原则

1.6 技术路线

### 2 污染识别（参考 F.1）

### 3 初步调查（参考 F.2）

### 4 水文地质条件

4.2 地层结构

4.3 地下水分布

4.4 水文地质参数测试结果

4.5 地下水水动力特征（流速、流向、水位波动等）

### 5 详细调查布点采样

#### 5.1 布点采样方案

5.1.1 采样目的

5.1.2 采样点布置

5.1.3 采样深度

5.1.4 钻探采样方法

5.1.5 样品保存与运输

5.1.6 实验室检测（检测指标、方法等）

5.1.6 质量保证与控制

#### 5.2 现场采样

5.2.1 采样点信息

5.2.2 现场快速检测

5.2.3 送检样品信息

### 6 检测结果分析

6.1 风险筛选标准

- 6.2 土壤检测结果分析（包括结果统计与空间分布表征）
- 6.3 地下水检测结果分析（包括结果统计与空间分布表征）
- 6.4 土壤气检测结果分析（包括结果统计与空间分布表征）
- 7 地块概念模型
- 8 结论与建议

#### 附件

- 采样点位置和深度分布图（必备）
- 现场钻探采样记录单（必备）
- 现场采样及岩芯照片（必备）
- 实验室检测报告（必备）
- 水文地质勘察报告、地层剖面图、成井结构图（必备）
- 实验室检测资质（必备）

### F.4 建设用地土壤污染风险评估报告编写提纲示例

- 1 概述
  - 1.1 项目概况
  - 1.2 调查范围
  - 1.3 调查目的
  - 1.4 工作依据
  - 1.5 基本原则
  - 1.6 技术路线
- 2 地块概念模型
  - 2.1 水文地质条件（参考 F.2）
  - 2.2 污染状况（参考 F.3）
  - 2.3 污染物迁移转化特征
  - 2.4 地块用地规划
  - 2.5 地块概念模型
- 4 危害识别
  - 4.1 关注污染物筛选
  - 4.2 暴露浓度确定
- 5 暴露评估
  - 5.1 暴露情景分析（敏感人群）
  - 5.2 暴露途径
  - 5.2 暴露评估模型
  - 5.3 模型参数取值
- 6 毒性评估
  - 6.1 污染物毒性特征
  - 6.2 毒性参数取值
- 7 风险表征
  - 7.1 表征模型
  - 7.2 计算软件
  - 7.3 计算结果

**DB11/T 656—2019**

- 7.4 关键暴露途径
- 8 概率风险评估（可选）
- 9 污染物迁移扩散趋势分析（可选）
- 10 风险管控目标/修复目标值
  - 10.1 风险管控目标
  - 10.2 修复目标值
- 11 风险管控/修复范围
- 12 风险评估的基本结论
- 13 风险管控与修复建议（可选）
- 14 结论与建议

附件

风险评估模型参数取值汇总表  
暴露浓度计算过程文件

附 录 G  
(资料性附录)  
挥发因子计算

G.1 地表土壤中污染物至室外空气的挥发性因子 $VF_{ss}$ 可由公式G.1或G.2计算:

$$VF_{ss} = \frac{r_s \cdot W}{U_{air} \cdot d_{air}} \sqrt{\frac{4 \cdot D_s^{eff} \cdot H}{\rho \cdot t \cdot (q_{ws} + K_s \cdot r_s + Hq_{as})}} \dots\dots\dots (G.1)$$

或者  $VF_{ss} = \frac{W \cdot r_s \cdot d}{U_{air} \cdot d_{air} \cdot t} \cdot 10^3 \dots\dots\dots (G.2)$

二者选择其中的低值, 式中:

$VF_{ss}$ ——表层土壤中污染物向地表大气中的挥发因子, 单位为克土壤每立方厘米空气(g(土壤)/cm<sup>3</sup>(空气));

$\rho_s$  ——干土壤容重, 单位为克每立方厘米(g/cm<sup>3</sup>);

$A$  ——土壤污染区面积, 单位为平方厘米(cm<sup>2</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);

$d_{air}$  ——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;

$T$  ——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, 单位为立方厘米空气每立方厘米土壤(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, 单位为立方厘米水每立方厘米空气(cm<sup>3</sup>(水)/cm<sup>3</sup>(空气));

$K_s$  ——土壤-水吸附分配系数, 单位为立方厘米水每克土壤(cm<sup>3</sup>(水)/g(土壤)), 可通过式G.3计算:

$$K_s = K_{oc} \cdot f_{oc} \dots\dots\dots (G.3)$$

式中:

$K_{oc}$  ——碳-水吸附系数, 单位为克水每克碳(g(水)/g(碳));

$f_{oc}$  ——土壤有机碳比例, 单位为克碳每克土(g(碳)/g(土));

$d$  ——表层污染土壤的深度, 单位为厘米(cm);

$D_s^{eff}$  ——污染物在包气带土壤的有效扩散系数, cm<sup>2</sup>/s; 可通过式G.4计算:

$$D_s^{eff} = D^{air} \cdot \frac{q_{as}^{3.33}}{q_T^2} + \frac{D^{wat}}{H} \cdot \frac{q_{ws}^{3.33}}{q_T^2} \dots\dots\dots (G.4)$$

式中:

$D^{air}$  ——污染物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, 单位为立方厘米孔隙每立方厘米土壤(cm<sup>3</sup>(孔隙)/cm<sup>3</sup>(土壤));

$D^{wat}$  ——污染物在水中的扩散系数, 单位为平方厘米每秒(cm<sup>2</sup>/s)。

G.2 深层土壤中污染物至室外空气的挥发性因子 $VF_{samb}$ 可通过G.5 或G.6 计算:

$$VF_{samb} = \frac{H' r_s}{(q_{ws} + K_s + r_s + H' q_{as})' (1 + \frac{U_{air}' d_{air}' L_s}{D_s^{eff}' W})} \dots\dots\dots (G.5)$$

如果已知深层污染土壤的深度, 也可用式G.6计算

$$VF_{samb} = \frac{W' r_s' d_s}{U_{air}' d_{air}' t} \cdot 10^3 \dots\dots\dots (G.6)$$

二者选择其中的低值, 式中:

$VF_{samb}$ ——表层土壤中污染物向地表大气中的挥发因子, 单位为克土壤每立方厘米空气 (g (土壤) /cm<sup>3</sup> (空气));

$L_s$  ——地表至地下污染土壤的距离, 单位为厘米 (cm);

$d_s$  ——深层污染土壤的厚度, 单位为厘米 (cm);

其他参数意义同上。

G.3 深层土壤中污染物至封闭空间空气的挥发性因子 $VF_{s esp}$ 可通过G.7、G.8 或G.9 式计算:

如果 $Q_s=0$

$$VF_{s esp} = \frac{(\frac{H' r_s}{q_{ws} + k_s' r_s + H' q_{as}})' (\frac{D_s^{eff}}{ER' L_B})}{1 + (\frac{D_s^{eff}}{ER' L_B}) + (\frac{D_s^{eff}}{D_{crack}^{eff}})' (\frac{1}{L_{crack}' h})} \dots\dots\dots (G.7)$$

如果 $Q_s>0$

$$VF_{s esp} = \frac{(\frac{H' r_s}{q_{ws} + k_s' r_s + H' q_{as}})' (\frac{D_s^{eff}}{ER' L_B})' e^x}{e^x + (\frac{D_s^{eff}}{ER' L_B}) + (\frac{D_s^{eff}}{Q_s/A_b})' (e^x - 1)} \dots\dots\dots (G.8)$$

或者  $VF_{s esp} = \frac{r_s' d_s}{L_B' ER' t} \dots\dots\dots (G.9)$

二者选择其中的低值, 式中:

$\eta$  ——建筑基础底板中裂缝所占比例, 无量纲;

$ER$  ——封闭空间换气率, 单位为次每秒 (次/秒);

$L_B$  ——封闭空间体积与渗透区面积的比例, 单位为厘米 (cm);

$L_s$  ——基础至地下污染土壤的距离, 单位为厘米 (cm);

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

$Q_s$ ——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.10计算：

$$Q_s = \frac{2p \cdot Dp \cdot k_v \cdot X_{crack}}{m_{air} \ln\left(\frac{2Z_{crack} \cdot X_{crack}}{A_b \cdot h}\right)} \dots\dots\dots (G.10)$$

式中：

$2p$  ——室内和室外的压差，单位为克每厘米每平方秒（ $\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}^2)$ ）；

$k_v$  ——土壤气渗透率，单位为平方厘米（ $\text{cm}^2$ ）；

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

$m_{air}$  ——空气黏度，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（ $\text{cm}^2$ ）；

$D_{crack}^{eff}$  ——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.11计算：

$$D_{crack}^{eff} = D^{air} \cdot \frac{q_{acrack}^{3.33}}{q_T^2} + \frac{D^{wat}}{H} \cdot \frac{q_{wcrack}^{3.33}}{q_T^2} \dots\dots\dots (G.11)$$

式中：

$\theta_{acrack}$ ——基础/墙裂缝土壤中的空气体积含量，单位为立方厘米空气每立方厘米土壤（ $\text{cm}^3$ （空气）/ $\text{cm}^3$ （土壤））；

$\theta_{wcrack}$ ——基础/墙裂缝土壤中的水体积含量，单位为立方厘米水每立方厘米土壤（ $\text{cm}^3$ （水）/ $\text{cm}^3$ （土壤））；

$\xi$  ——通过基础裂缝的空气流量；可通过式G.12计算：

$$x = \frac{Q_s / A_b}{(D_{crack}^{eff} / L_{crack}) \cdot h} \dots\dots\dots (G.12)$$

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，如试验数据不充分，可通过公式G.13计算：

$$k_v = k_i \cdot K_{rg} \dots\dots\dots (G.13)$$

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.14计算：

$$k_i = \frac{k_s \cdot m_w}{r_w \cdot g} \dots\dots\dots (G.14)$$

式中：

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

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

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

DB11/T 656—2019

$g$ ——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.15计算：

$$k_{rg} = \sqrt{1 - S_{te}} \cdot (1 - S_{te}^{1/m})^{2m} \dots\dots\dots (\text{G.15})$$

式中：

$m$ ——Van Genuchten模型形状参数，无量纲，通过测试土壤水分特性曲线拟合获得；

$S_{te}$ ——水的有效总饱和度，无量纲；可通过公式G.16计算：

$$S_{te} = \frac{q_w - q_r}{n - q_r} \dots\dots\dots (\text{G.16})$$

式中：

$\theta_r$ ——土壤中残余含水量，单位为立方厘米水每立方厘米土壤（ $\text{cm}^3$ （水）/ $\text{cm}^3$ （土壤））；

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

G.4 地下水中物质至室外空气的挥发性因子 $VF_{gwamb}$ 可通过公式G.17 计算：

$$VF_{gwamb} = \frac{H}{1 + \frac{U_{air} \cdot d_{air} \cdot L_{gw}}{D_{ws}^{eff} \cdot W}} \dots\dots\dots (\text{G.17})$$

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系数，单位为平方厘米每秒（ $\text{cm}^2/\text{s}$ ）；可通过公式G.18

计算：

$$D_{ws}^{eff} = \frac{L_{gw}}{\frac{h_v}{D_s^{eff}} + \frac{h_{cap}}{D_{s,cap}^{eff}}} \dots\dots\dots (\text{G.18})$$

式中：

$h_v$ ——包气带土壤厚度，单位为厘米（ $\text{cm}$ ）；

$h_{cap}$ ——毛细带厚度，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， $\text{cm}^2/\text{s}$ ；可通过公式G.19计算：

$$D_{s,cap}^{eff} = D^{air} \cdot \frac{q_{as,cap}^{3.33}}{q_{T,cap}^2} + \frac{D^{wat}}{H} \cdot \frac{q_{ws,cap}^{3.33}}{q_{T,cap}^2} \dots\dots\dots (\text{G.19})$$

式中：

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

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

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

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

其他参数意义同上。

G.5 地下水中污染物至封闭空间空气的挥发性因子 $VF_{gwesp}$ 可通过公式G.20 或G.21 计算：

如果 $Q_s=0$

$$VF_{gwesp} = \frac{H \cdot \frac{86400}{L_B \cdot ER} \cdot \frac{D_{ws}^{eff}}{L_{gw}}}{1 + \left( \frac{D_{ws}^{eff} \cdot 86400}{ER \cdot L_B \cdot L_{gw}} \right) + \left( \frac{D_{ws}^{eff} \cdot L_{crack}}{D_{crack}^{eff} \cdot L_{gw} \cdot h} \right)} \dots\dots\dots (G.20)$$

如果 $Q_s>0$

$$VF_{gwesp} = \frac{H \cdot \frac{86400}{ER \cdot L_B} \cdot \frac{D_{ws}^{eff}}{L_{gw}} \cdot e^x}{e^x + \left( \frac{86400 \cdot D_{ws}^{eff}}{ER \cdot L_B \cdot L_{gw}} \right) + \left( \frac{D_{ws}^{eff} \cdot A_b}{Q_s \cdot L_{gw}} \right) \cdot (e^x - 1)} \dots\dots\dots (G.21)$$

式中参数意义同上。

**G.6** 以土壤气中污染物浓度进行挥发性有机物暴露点浓度计算过程中，挥发因子的具体计算模型可参照DB11/T 1278 的相关附录。

**G.7** 当地块概念模型与以上挥发因子计算模型所基于的地块概念模型不相符时，应结合地块概念模型重新推导确定挥发因子计算模型。

附 录 H  
(资料性附录)  
概率风险评估原理及案例

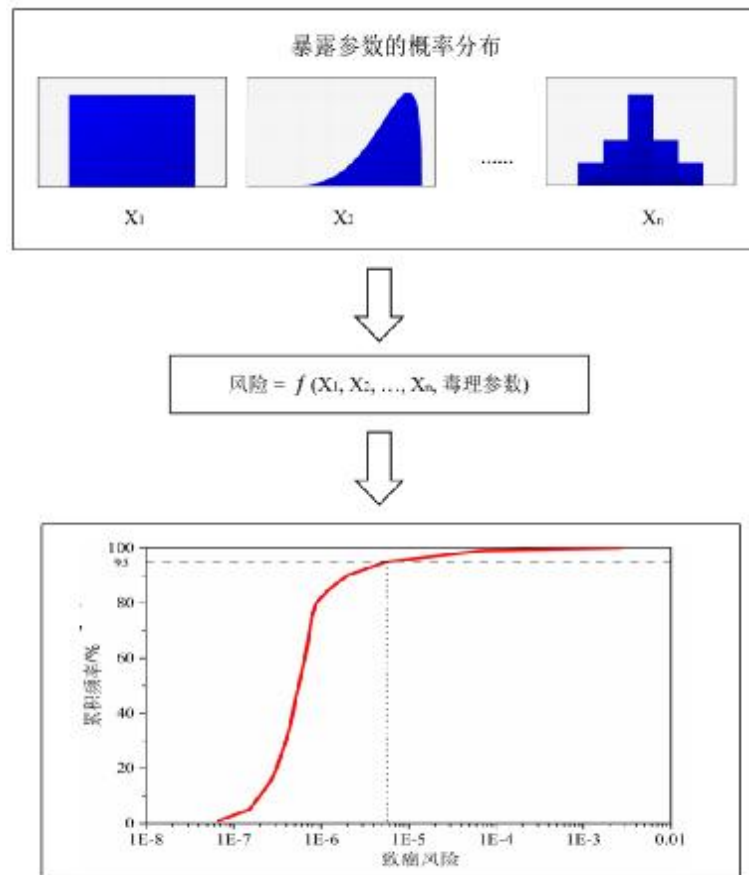
### H.1 概率风险评估原理

概率风险评估是使用概率模型模拟某一人群不同风险水平的可能性,或表征风险评估中不确定性的一种方法。在概率风险评估中,一个或多个变量被定义为服从特定的概率分布函数后,输入风险评估模型,并以概率分布的形式输出风险计算结果。

### H.2 概率风险评估工作程序

概率风险评估的开展通常需借助蒙特卡洛模拟方法实现,常用软件有@RISK 和 Crystal Ball 等,具体评估工作流程如图 H.1 所示,包括:

- a) 在计算机中打开蒙特卡洛模拟软件,按导则要求定义风险计算公式;
- b) 定义暴露参数(如体重,暴露频率,摄入量等)的概率分布函数及参数取值;
- c) 设定模拟次数(通常不小于 1000 次),启动模拟;
- d) 模拟结束,点击软件结果输出功能按钮,输出风险累积频率曲线或概率密度分布图;
- e) 对输出结果进行分析,选取对应分位值(一般为风险模拟结果累积频率曲线中 95%分位数)对应的风险作为最终的风险评估的结果。



图H.1 概率风险评估工作流程图

### H.3 案例

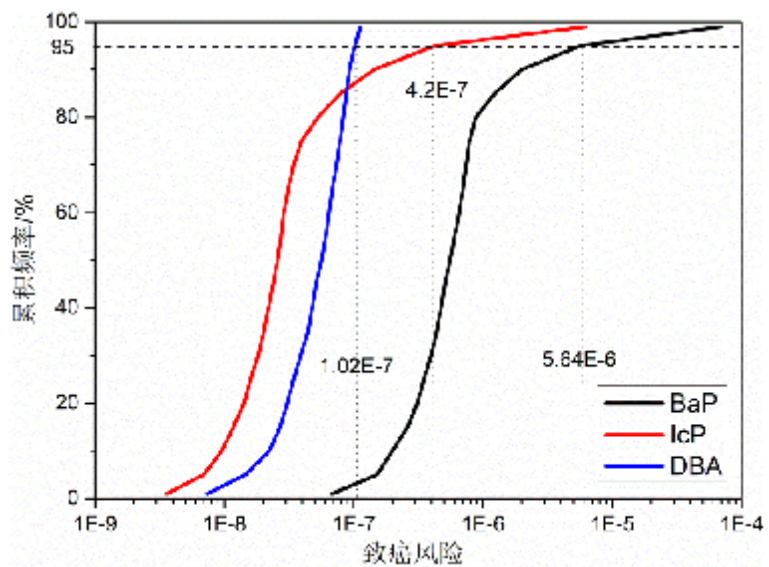
某焦化污染地块场地经调查，土壤存在一定程度的污染，主要关注污染物为 PAHs。其中，苯并 a 芘(BaP)、茚并芘(IcP)和二苯并(a,h)蒽(DBA)在浅表层土壤中最高浓度可达到 322 mg/kg, 231 mg/kg 和 59 mg/kg。该地块未来将主要规划为居住用地。利用@ RISK 软件开展概率风险评估，计算这 3 种关注污染物经口摄入，呼吸摄入和皮肤摄入途径的健康风险，具体流程如下：

- a) 确定风险评估计算模型中相关参数的分布函数及其特征参数，如表 H.1 所示；
- b) 在 Excel 中录入导则中相应暴露方式下的风险计算模型；
- c) 将@ RISK 概率分析软件功能模块加载进入 Excel，开展 1000 次的模拟；
- d) 输出模拟运算结果及图表，选择 95%分位数对应的模拟计算值作为健康风险值。

表H.1 风险评估模型参数概率分布函数定义

参数	单位	分布函数	分布函数特征参数
AT	d	Log-normal	m=18621,s=1.1
BWc	kg	Log-normal	m=16.68,s=1.48
BWa	kg	Log-normal	m=59.78,s=1.07
IRAc	m <sup>3</sup> /d	Uniform	min=4.7,max=6.4
IRAA	m <sup>3</sup> /d	Uniform	min=11.8,max=16.7
EDc	a	Uniform	min=0,max=11
EDa	a	Uniform	min=0,max=52
SAC	cm <sup>2</sup> /d	Log-normal	m=4619.11,s=1.77
SAa	cm <sup>2</sup> /d	Log-normal	m=12633.93,s=1.13
AFc	mg/cm <sup>2</sup>	Log-normal	m=0.04,s=3.41
AFa	mg/cm <sup>2</sup>	Log-normal	m=0.02,s=2.67
DAF	-	Log-normal	m=0.13,s=1.26
EFc	d/a	Uniform	min=350,max=365
EFa	d/a	Uniform	min=350,max=365
IRc	mg/d	Log-normal	m=4073.8,s=14.13,min=0,max=400
IRa	mg/d	Log-normal	m=10000,s=2.04,min=0,max=480

案例场地土壤中 3 种关注污染物健康风险值的概率分布如图 H.2 所示，根据国外通常作法，保守考虑可选定致癌风险模拟结果分布的 95%分位数作为案例地块土壤中目标污染物致癌风险。其中，BaP、IcP 和 DBA 的致癌风险分别为 5.64E-06, 4.2E-07, 1.02E-07，均低于基于确定值计算得到的致癌风险结果 3.72E-05, 1.06E-06, 3.71E-08。



图H.2 关注污染物健康风险计算结果累积频率分布图