

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/ESC

中国生态学会团体标准

T/ESC XXXX—XXXX

工业污染场地土壤生态风险评估 技术指南

Technical guideline for soil ecological risk assessment at industrial
contaminated sites

(征求意见稿)

— XX — XX 发布

XXXX — XX — XX 实施

中国生态学会 发布

目 次

1 范围	2
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	2
4 工作程序	3
4.1 危害识别	4
4.2 风险筛选	4
4.3 风险定量	4
4.4 因果关系判定	4
5 危害识别技术要求	4
5.1 工业污染场地信息获取	4
5.1.1 获取方式	4
5.1.2 获取内容	4
5.2 工业场地土壤污染物类型识别	5
5.2.1 工业场地土壤污染物类型初步分析	5
5.2.2 工业场地土壤污染物类型验证	5
5.3 工业场地土壤生态受体调查	5
5.3.1 生态敏感点位获取	5
5.3.2 生态受体调查	5
6 风险筛选技术要求	5
6.1 潜在污染区域识别	5
6.2 潜在污染区域土壤样品采集	5
6.3 土壤生态基准值获取	5
6.4 生态风险筛选	6
7 风险定量技术要求	6
7.1 土壤样品采集	6
7.2 生态情景匹配	6
7.3 生态保护水平确定	6
7.4 联合概率风险评估	6
8 因果关系判定技术要求	7
附录 A（资料性） 常见工业企业周边土壤中的关注污染物	8
附录 B（资料性） 工业污染场地开发利用方式	11
附录 C（资料性） 常见工业污染场地生态情景及对应推荐生态保护水平	12
附录 D（资料性） 物种敏感性和暴露浓度分布曲线拟合函数及拟合优度评价方法	13
附录 E（资料性） 希尔因果关系判断准则	14

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件规定了工业污染场地土壤生态风险评估的程序、内容、方法和技术要求。

本文件的附录A~附录D为资料性附录。

本文件由中国科学院生态环境研究中心提出。

本文件由中国生态学会归口。

本文件起草单位：中国科学院生态环境研究中心、生态环境部南京环境科学研究所、厦门大学、中山大学、华南农业大学。

本文件主要起草人：史雅娟、许秋云、钱力、吕永龙、仇荣亮、赵春梅、丁龙君、陈樯、郑丽萍、周霁、邵秀清、宋帅、贺桂珍、于名召。

本文件由中国科学院生态环境研究中心负责解释。

工业污染场地土壤生态风险评估技术指南

1 范围

本文件规定了工业污染场地土壤重金属和有机污染物生态风险评估的工作程序和技术要求。
本文件适用于工业污染场地土壤重金属和有机污染物的生态风险评估。
本文件不适用于放射性物质和致病性生物污染的工业场地土壤生态风险评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50137-2011 城市用地分类与规划建设用地标准
HJ 682-2014 污染场地术语
HJ 831-2022 淡水生物水质基准推导技术指南
HJ 25.1-2019 建设用地土壤污染状况调查技术导则
NY/T 1121.2-2006 土壤pH的测定
NY/T 1121.6-2006 土壤有机质的测定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

工业污染场地 industrial contaminated site

对潜在工业污染场地进行调查和风险评估后，确认污染危害超过生态环境可接受风险水平的场地。

3.2

关注污染物 contaminant of concern

根据场地污染特征和场地利益相关方意见，确定需要进行调查和风险评估的污染物。

[来源：HJ 682-2014，2.2.4]

3.3

生态情景 ecological scenario

在污染物暴露的条件下，由一组特定环境参数在一定范围内的取值组合所形成的土壤生态系统状态。

3.4

x%物种危害浓度 hazardous concentration for x% of species, HC_x

受影响物种的累积概率达到 x%时的污染物浓度，或（100-x）%的物种能够得到有效保护的污染物浓度。

[来源：HJ 831-2022，3.17]

3.5

生态保护水平 ecological protection level

指基于工业污染场地不同潜在土地利用类型所提供的生态系统服务功能的重要性，对生态受体（包括关键物种、生态过程或功能）实施保护的程度。

3.6

物种敏感度分布 species sensitivity distribution, SSD

在生态系统中，不同物种对某一胁迫因子的敏感程度服从一定的累积概率分布，可通过概率或经验分布函数来描述不同物种样本对胁迫因素的敏感度差异。

[来源：HJ 831-2022，3.7，有修改]

3.7

因果关系 causal relationship

污染物胁迫对生态受体（如生物群体、生态系统或环境要素）的生理、行为、繁殖或生态功能产生直接或间接影响，从而引发特定的生态反应或变化的因果过程。

4 工作程序

工业污染场地生态风险评估工作程序包括危害识别、风险筛选和风险定量。在此基础上，根据需要开展因果关系判定，用于支持风险结果的解释与验证。评估程序详见图 1。

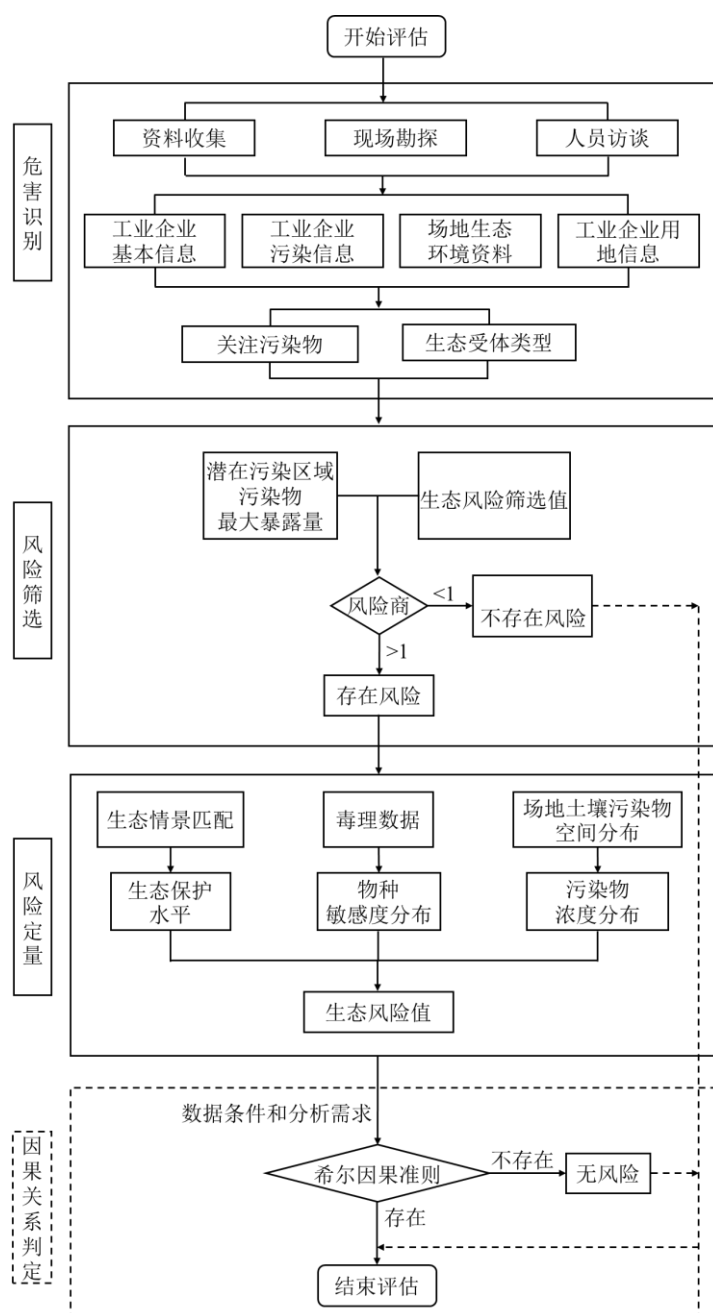


图 1 工业污染场地生态风险评估工作程序

4.1 危害识别

调查工业企业基本信息、污染信息、场地生态环境资料及用地信息，确定污染场地的关注污染物类型、潜在污染区域、土地利用方式及敏感生态受体。

4.2 风险筛选

根据潜在污染区域中关注污染物的最大暴露浓度与生态风险筛选值，对关注污染物进行筛选。当存在生态风险时，进入下一步风险评估；否则，终止评估。

4.3 风险定量

明确所评估工业污染场地的生态情景，并基于相应的生态保护水平，结合污染物暴露浓度分布和物种敏感度分布，定量计算污染物的生态风险。

4.4 因果关系判定

依据希尔因果准则（Hill's Causal Criteria），判断污染物胁迫与工业污染场地土壤生态系统受影响之间的因果关系。

5 危害识别技术要求

5.1 工业污染场地信息获取

5.1.1 获取方式

按照HJ 25.1-2019提及的方法，包括资料收集、现场踏勘和人员访谈相结合的方式收集工业企业的相关信息。

5.1.2 获取内容

- a) 工业企业基本信息：
 - 1) 工业企业的地理位置、占地面积、行政区划、水文地质、气候条件等；
 - 2) 行业类型（按照国民经济行业分类）；
 - 3) 企业当前状态（在营、搬迁、闲置、拆除）；
 - 4) 建设、投产、停产时间，运营年限与关键历史阶段；
- b) 工业企业污染信息：
 - 1) 工艺流程（流程图以及相关描述）；
 - 2) 原辅材料清单（包括是否使用有毒原料）；
 - 3) 产品及副产物类型；
 - 4) 化学品存储与使用记录；
 - 5) 固废/废水/废气排放种类与去向；
 - 6) 排污管线、暗渠、排水沟走向；
 - 7) 污染治理设施与运行效率；
 - 8) 环境事故与应急记录等。
- c) 场地生态环境资料：
 - 1) 绿地、草坪、人工湿地等植被覆盖区域分布；
 - 2) 厂区内景观水体、雨水调蓄池等可能承载生态功能的水体；
 - 3) 场地裸地、边角地带等自然恢复区域；
 - 4) 存在明显植被或土壤动物活动迹象的区域。
- d) 工业企业用地信息：
 - 1) 企业用地分类，包括生产加工区、原辅材料储存区、废弃物处理与堆放区、储运/事故区和辅助区/生活区；
 - 2) 用地历史相关资料（历次卫星/航拍影像、拆改记录）；
 - 3) 土地权属与规划用途变更；
 - 4) 政府土地利用总体规划。

5.2 工业场地土壤污染物类型识别

5.2.1 工业场地土壤污染物类型初步分析

- 梳理工艺流程及排污节点，确定潜在释放环节；
- 提取原辅材料、化学品、产品及副产物信息，识别有毒有害物质；
- 结合固废、废气、废水排放信息，分析污染物排放介质与形式；
- 匹配常见工业企业周边土壤污染物类型清单（见附录A）[1]，初步确定工业企业场地土壤关注污染物。

5.2.2 工业场地土壤污染物类型验证

- 查阅企业环评报告或清洁生产审核报告，核实污染物种类、排放浓度及治理情况；
 - 核对国家或地方重点监控污染物名单及企业名录，识别是否涉及高关注污染物；
 - 比对历史监测或污染场地调查结果，排除误识或新增未知污染物。
- 通过比对验证，最终明确工业企业场地土壤关注污染物。

5.3 工业场地土壤生态受体调查

5.3.1 生态敏感点位获取

根据场地生态环境资料，初步判断生态系统组成的基本单元和生态活性区域，重点识别植被密集、土壤疏松或存在水体的生态敏感点位。

5.3.2 生态受体调查

在各生态敏感点位，依据《第三次全国土壤普查土壤生物调查技术规范（试行）》[2]及《中国土壤环境基础敏感受体推荐名录》[3]，设置生物调查样地，采集土壤生物样品并分析其组成，明确工业污染场地的生态受体类型。

6 风险筛选技术要求

6.1 潜在污染区域识别

根据工业企业污染信息和用地分类信息，综合判断得出工业企业的潜在污染区域，包括危废储存区、原料/产品堆放区、废水处理设施区、地下储罐区、排水沟/暗渠、拆除设施残留区等。

6.2 潜在污染区域土壤样品采集

在工业污染场地的潜在污染区域内，按照HJ 25.1-2019标准描述的方法，采用专业判断布点法制定采样计划，采集、运输和储存土壤样品，并测定关注污染物浓度。

每类潜在污染区域内原则上应布设不少于3个样点，具体可参照表1。

表1 潜在污染区域及其采样点数量

潜在污染区类型	采样建议点数	采样深度建议
危废储存区	≥3点	表层0-0.5 m，必要时加深至2 m
原料/产品堆放区	≥3点	表层0-0.5 m，必要时加深至2 m
废水处理设施区	≥3点	表层及底泥混合层
地下储罐区	≥5点（含周边）	多层采样（0-0.5 m，0.5-1.5 m，1.5-3 m）
排水沟/暗渠	沿线布点，每20-50 m设置1点	表层及沟底沉积层
拆除设施残留区	≥3点	表层及深层，必要时布设剖面样带

6.3 土壤生态基准值获取

1) 生态风险筛选值宜优先采用我国已发布的土壤污染生态风险筛选值；在国内无相应标准的情况下，可参考采用国际组织或其他国家发布的生态风险筛选值。

2) 在无法获取相关生态风险筛选值的情形下, 可依据生态安全环境基准值推导生态风险筛选值, 推导方法应参照T/ACEF 087的相关要求。

6.4 生态风险筛选

根据风险商法计算工业污染场地的生态风险, 具体公式见公式1。若风险商大于1, 则表明存在生态风险, 需要进一步量化风险大小; 若小于1, 则表明不存在生态风险, 生态风险评估工作停止。

风险商计算公式见公式(1)。

$$HQ = \frac{C_e}{C_s} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

HQ —风险商;

C_e —潜在污染区域最高暴露浓度;

C_s —潜在污染区域土壤生态风险筛选值。

7 风险定量技术要求

7.1 土壤样品采集

在整个工业污染场地的空间范围内, 按照HJ 25.1-2019描述的方法制定网格化采样计划, 采集土壤样品, 并分析其中筛选后存在生态风险的污染物浓度。按照NY/T 1121.2-2006 和NY/T 1121.6-2006描述的方法分别测定土壤pH值和有机质含量。

7.2 生态情景匹配

按照GB 50137-2011规定的城乡用地分类标准, 确定工业污染场地的后续开发利用方式(包括作为建设用地继续工业生产/重新开发为其它类型的建设用地/重新开发为非建设用地)(附录B)。根据土壤pH值和有机质含量, 确定场地的生态情景类型(附录C)。各生态情景对应的生态保护水平见7.3节, 并用于后续生态风险定量计算。

7.3 生态保护水平确定

生态保护水平基于生态情景划分结果确定, 并作为保护水平的设定依据(如表3所示)。

表3 生态情景的生态保护水平

生态情景类型	生态保护水平
生态情景 I	95%
生态情景 II	90%
生态情景 III	85%
生态情景 IV	80%
生态情景 V	70%
生态情景 VI	50%

7.4 联合概率风险评估

1) 基于场地网格化采样数据, 采用参数分布函数(如对数正态分布、Gamma分布等)对污染物暴露浓度进行拟合(附录D), 获得其累积分布函数, 拟合优度使用赤池信息准则(Akaike Information Criterion, AIC)进行评价

2) 根据《生态安全土壤环境基准制定技术指南(征求意见稿)》[4]的技术框架, 获取污染物毒理数据并选择最优拟合曲线, 进一步构建SSD。

3) 依据工业污染场地对应的生态保护水平, 将污染物暴露浓度分布与SSD曲线进行联合分析, 构建联合概率曲线(Joint Probability Curve, JPC)并据此表征生态风险水平。

8 因果关系判定技术要求

本章节为风险评估的补充分析内容，用于在风险评估结果基础上，分析污染物暴露与生态受体响应之间的因果关系，为风险管理决策提供支撑。根据数据条件和分析需求，可选择开展本部分内容。结合工业污染场地的具体状况，并依据希尔因果关系判断准则（见附录E），判定污染物与生态受体响应之间的因果关系。

（1）应优先选择可信度更高的准则进行判断。如果分析结果满足准则要求，则可合理地认为污染物暴露与生态受体响应之间存在因果关系。

（2）若存在相反的判断结果（例如，污染物暴露与生态受体响应之间存在负相关关系），则不能建立污染物与生态受体响应之间的因果关系，应分析其他可能的原因。

（3）若分析结果存在矛盾（例如，部分结果表明污染物暴露与生态受体响应之间存在联系，而另一部分结果认为不存在联系），则需要进一步的工作对该矛盾进行解释。

附录 A
(资料性)

常见工业企业周边土壤中的关注污染物

表A.1 常见工业企业周边土壤中的关注污染物

0610	烟煤和无烟煤开采洗选	砷
0710	石油开采	石油烃(C10-C40)、砷、六价铬
0810	铁矿采选	砷、镍、铅、镉、铜、钴、钒、锰、总氟化物、石油烃(C10-C40)
0820	锰矿、铬矿采选	砷、镍、六价铬
0911	铜矿采选	铜、钴、砷、铅、镍、镉、总氟化物、石油烃(C10-C40)
0912	铅锌矿采选	铅、锌、砷、镉、汞、铜、钴、镉、六价铬、镍、石油烃(C10-C40)
0914	锡矿采选	砷、铅、镍、铜、镉、镉、六价铬、锡
0915	锑矿采选	锑、砷
0921	金矿采选	钴、砷、钒、镉、铅、汞、镍、镉、氰化物、石油烃(C10-C40)
0931	钨钼矿采选	钨、钼、钴、铍、砷、铅、钒、镉、镉、铜、石油烃(C10-C40)
1713	棉印染精加工	钴、砷、苯胺、甲苯、六价铬、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
1723	毛染整精加工	砷、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
1752	化纤织物染整精加工	钴、砷、镉、石油烃(C10-C40)、苯胺、六价铬
1762	针织或钩针编织物印染精加工	石油烃(C10-C40)、砷
1910	皮革鞣制加工	砷、钴、六价铬、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
1931	毛皮鞣制加工	砷、六价铬
2211	木竹浆制造	砷、镉、六价铬、铅、镍、二噁英类(总毒性当量)
2212	非术竹浆制造	砷、镍
2221	机制纸及纸板制造	砷、镍、二噁英类(总毒性当量)、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
2511	原油加工及石油制品制造	石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘、砷、钒、镉、二苯并[a, h]蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、钴
2520	炼焦	钴、砷、钒、六价铬、汞、镍、铅、苯并[a]芘、二苯并[a, h]蒽、石油烃(C10-C40)、苯并[b]荧蒽、苯并[a]蒽、茚并[1, 2, 3-cd]芘、萘、苯并[k]荧蒽、屈、菲、芘、荧蒽、芴、芘、蒽、萘烯、萘、1, 2, 3-三氯丙烷
2611	无机酸制造	砷、铅、镉、钒、六价铬、汞、镍、铜、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
2612	无机碱制造	砷、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
2613	无机盐制造	钴、镉、砷、铅、钒、六价铬、镉、镍、铜、汞、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘

2614	有机化学原料制造	石油烃(C10-C40)、二噁英类(总毒性当量)、苯并[a]芘、二苯并[a, h]蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、萘
2619	其他基础化学原料制造	钴、砷、六价铬、镍、铅、苯并[a]芘、石油烃(C10-C40)
2621	氮肥制造	钴、砷、钒、六价铬、铝、镍、铜、镉、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘、汞、二苯并[a, h]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[a]蒽、茚并[1, 2, 3-cd]芘
2622	磷肥制造	铅、汞、镍、镉、六价铬、铜、砷、总氟化物、石油烃(C10-C40)
2624	复混肥料制造	砷、铅
2631	化学农药制造	二噁英类(总毒性当量)、砷、镍、六价铬、铅、石油烃(C10-C40)、阿特拉津、苯并[a]芘
2641	涂料制造	钴、砷
2642	油墨及类似产品制造	砷、石油烃(C10-C40)
2643	颜料制造	钴、砷、镍、六价铬、铅、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
2644	染料制造	砷、六价铬、汞、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
2651	初级形态塑料及合成树脂制造	砷、汞、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
2653	合成纤维单(聚合)体制造	砷、镉、镍、石油烃(C10-C40)
2661	化学试剂和助剂制造	钴、砷、铋、钒、铅、六价铬、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘、二苯并[a, h]蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽
2662	专项化学用品制造	石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘、二苯并[a, h]蒽、1, 2-二氯乙烷
2669	其他专用化学产品制造	石油烃(C10-C40)、砷
2671	炸药及火工产品制造	2, 4, 6-三硝基甲苯、2, 4-二硝基甲苯、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘、砷、镍、铅
2710	化学药品原料药制造	砷、六价铬、镍、石油烃(C10~C40)、苯并[a]芘
2720	化学药品制剂制造	苯并[a]芘、石油烃(C10-C40)、砷
2750	兽用药品制造	砷
2760	生物药品制造	砷、镍
2822	涤纶纤维制造	石油烃(C10-C40)
3110	炼铁	砷、铅、镍、钴、钒、六价铬、石油烃(C10-C40)、二噁英类(总毒性当量)、苯并[a]芘、二苯并[a, h]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[a]蒽、茚并[1, 2, 3-cd]芘
3120	炼钢	砷、镍、六价铬、铅、镉、二噁英类(总毒性当量)、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘、二苯并[a, h]蒽、苯并[a]蒽、苯并[b]荧蒽、茚并[1, 2, 3-cd]芘
3130	黑色金属铸造	砷、镍、二噁英类(总毒性当量)、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
3140	钢压延加工	砷、六价铬、镍、石油烃、苯并[a]芘

3150	铁合金冶炼	钴、钒、砷、镍、铅、镉、六价铬、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘、二噁英类(总毒性当量)、二苯并[a, h]蒽、苯并[b]荧蒽
3211	铜冶炼	钴、砷、铅、铜、镉、镉、镍、汞、钒、六价铬、二噁英类(总毒性当量)、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
3212	铅锌冶炼	钴、镍、砷、镉、铅、铜、石油烃(C10-C40)
3213	镍钴冶炼	砷、铅、镉、镉、镍、汞、铜、钴、六价铬、锌、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
3215	锑冶炼	锑、砷、铅、汞、镉、六价铬、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘、二苯并[a, h]蒽
3216	铝冶炼	砷、镍、六价铬、总氟化物、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘、二苯并[a, h]蒽、苯并[b]荧蒽、苯并[a]蒽、茚并[1, 2, 3-cd]芘
3219	其他常用有色金属冶炼	砷、钴、镍、六价铬、镉、铅、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
3221	金冶炼	砷、铅、镍、氟化物、镉、铜、汞
3231	钨钼冶炼	镍、砷、镉、铅、六价铬、铜
3232	稀土金属冶炼	砷、铅、镍、六价铬、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
3240	有色金属合金制造	镍、砷、铅、石油烃(C10-C40)
3311	金属结构制造	石油烃(C10-C40)
3340	金属丝绳及其制品制造	铅、砷、石油烃(C10-C40)
3360	金属表面处理及热处理加工	铅、铜、钴、砷、钒、六价铬、镍、氟化物、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
3849	其他电池制造	砷、镉、钴、铅、镉、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
4210	金属废料和碎屑加工处理	钴、砷、铅、镉、镉、钒
4411	火力发电	石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘、砷
4620	污水处理及其再生利用	石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘、砷、镍
5941	油气仓储	石油烃(C10-C40)、砷
5990	其他仓储业	砷、石油烃(C10-C40)
7724	危险废物治理	钴、砷、钒、镉、镍、铅、六价铬、镉、二噁英类(总毒性当量)、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘
7820	环境卫生管理	钴、砷、镉、镍、铅、六价铬、二噁英类(总毒性当量)、石油烃(C10-C40)、苯并[a]芘

注：本表内容根据中国环境监测总站于2023年7月30日印发的《工业企业周边土壤和地下水监测技术指南（试行）》整理。

附录 B
(资料性)

工业污染场地开发利用方式

代码		工业污染场地开发利用方式	备注
H	H1	城乡居民点建设用地	(1) 城市、镇、乡、村庄以及独立的建设用地； (2) 城市和县人民政府所在地镇内的居住用地、公共管理与公共服务用地、商业服务业设施用地、工业用地、物流仓储用地、交通设施用地、公用设施用地、绿地； (3) 非县人民政府所在地镇的建设用地； (4) 乡人民政府驻地的建设用地； (5) 农村居民点的建设用地； (6) 独立于中心城区、乡镇区、村庄以外的建设用地：包括居住、工业、物流仓储、商业服务业设施以及风景名胜区、森林公园等的管理及服务设施用地。
	H2	区域交通设施用地	(1) 铁路编组站、线路等用地； (2) 高速公路、国道、省道、县道和乡道用地及附属设施用地； (3) 海港和河港的陆域部分，包括码头作业区、辅助生产区等用地； (4) 民用及军民合用的机场用地，包括飞行区、航站区等用地； (5) 运输煤炭、石油和天然气等地面管道运输用地。
	H3	区域公用设施用地	(1) 为区域服务的公用设施用地，包括区域性能源设施、水工设施、通讯设施、殡葬设施、环卫设施、排水设施等用地。
	H4	特殊用地	(1) 专门用于军事目的的设施用地，不包括部队家属生活区和军民共用设施等用地； (2) 监狱、拘留所、劳改场所和安全保卫设施等用地不包括公安局用地。
	H5	采矿用地	(1) 采矿、采石、采沙、盐田、砖瓦窑等地面生产用地及尾矿堆放地。
E	E1	水域	(1) 河流、湖泊、水库、坑塘、沟渠、滩涂、冰川及永久积雪，不包括公园绿地及单位内的水域； (2) 河流、湖泊、滩涂、冰川及永久积雪人工拦截汇集而成的总库容不小于10万m ³ 的水库正常蓄水位岸线所围成的水面； (3) 蓄水量小于10万m ³ 的坑塘水面和人工修建用于引、排、灌的渠道。
	E2	农林用地	(1) 耕地、园地、林地、牧草地、设施农用地、田坎、农村道路等用地。
	E3	其他非建设用地	(1) 空闲地、盐碱地、沼泽地、沙地、裸地、不用于畜牧业的草地等用地； (2) 城镇、村庄、独立用地内部尚未利用的土地。

注：本表内容根据GB 50137-2011《城市用地分类与规划建设用地标准》整理。

附录 C
(资料性)

常见工业污染场地生态情景及对应推荐生态保护水平

生态情景类型	判定规则	示例
生态情景 I	1) 非建设用地, $\text{pH} < 4$, $\text{SOM} < 2\%$	1) 废弃化工厂地块拟建为城市森林公园, 土壤酸性强、有机质含量低。
生态情景 II	1) 非建设用地, $\text{pH} < 4$, $\text{SOM} \geq 2\%$ 2) 非建设用地, $4 \leq \text{pH} < 7$, $\text{SOM} < 2\%$	1) 污染金属加工厂地块计划改造成城市湿地, 土壤有机质较高, 但酸性极强。 2) 拟建为城市绿地的旧机械厂地, 土壤中偏酸但缺乏有机质。
生态情景 III	1) 非建设用地, $4 \leq \text{pH} < 7$, $\text{SOM} \geq 2\%$ 2) 非建设用地, $7 \leq \text{pH} \leq 8.5$, $\text{SOM} < 2\%$ 3) 建设用地, $\text{pH} < 4$, $\text{SOM} < 2\%$	1) 拟改造成湿地公园的钢铁厂污染场地, 土壤中性偏酸且富含有机质。 2) 旧轻工厂地块拟建为草坪绿地, 土壤微碱但有机质不足。 3) 继续作为工业生产使用的场地, 土壤酸性强且有机质含量低。
生态情景 IV	1) 建设用地, $\text{pH} < 4$, $\text{SOM} \geq 2\%$ 2) 建设用地, $4 \leq \text{pH} < 7$, $\text{SOM} < 2\%$ 3) 非建设用地, $7 \leq \text{pH} \leq 8.5$, $\text{SOM} \geq 2\%$ 4) 非建设用地, $\text{pH} > 8.5$, $\text{SOM} < 2\%$	1) 拟建为城市绿地的污染场地, 土壤为碱性且有机质含量较高; 2) 拟建为湿地缓冲带的污染地块, 土壤为碱性且有机质含量较低; 3) 拟建为商业办公区的场地, 土壤酸性较强但有机质含量较高; 4) 拟继续作为厂房用地的污染场地, 土壤为弱酸性且有机质含量低。
生态情景 V	1) 建设用地, $4 \leq \text{pH} < 7$, $\text{SOM} \geq 2\%$ 2) 建设用地, $7 \leq \text{pH} \leq 8.5$, $\text{SOM} < 2\%$ 3) 建设用地, $\text{pH} > 8.5$, $\text{SOM} < 2\%$ 4) 非建设用地, $\text{pH} > 8.5$, $\text{SOM} \geq 2\%$	1) 拟建为湿地公园的工业污染地块, 土壤, 土壤为高碱性且有机质较高; 2) 拟开发为居住小区的工业污染地块, 土壤中性且有机质充足; 3) 规划为厂区物流区的工业污染地块, 土壤偏碱性但有机质低; 4) 继续作为工业用途的工业污染地块, 土壤碱性强但有机质含量低
生态情景 VI	(1) 建设用地, $\text{pH} \geq 7$, $\text{SOM} \geq 2\%$	1) 规划为高端商务区绿的工业污染场地, 土壤为微碱性且有机质含量高。

附录 D
(资料性)

物种敏感性和暴露浓度分布曲线拟合函数及拟合优度评价方法

拟合函数名称	函数公式	变量及参数含义
Burr III型函数	$F = 1/[1 + (b/x)^c]^k$	F — 拟合函数的累积概率, % x — 污染物毒性浓度, mg/kg $b, c, k, \alpha, \beta, \gamma, \mu, \sigma$ — 拟合函数参数
Gamma型函数	$F = \gamma(\alpha, \beta x)/\Gamma(\alpha)$	
Gumbel型函数	$F = e^{-e^{-\frac{x-\alpha}{\beta}}}$	
Log-logistic型函数	$F = 1/\{1 + [\beta/(x - \gamma)]^\alpha\}$	
Log-normal型函数	$F = \Phi[(\log x - \mu)/\sigma]$	
Weibull型函数	$F = 1 - e^{-(x/\beta)^\alpha}$	

C.1 拟合函数拟合优度评价

模型拟合优度评价是用来检验一组数据是否与某种理论分布相一致的统计方法。对于参数模型, 检验模型拟合优度的方法推荐使用AIC。该方法采用最大似然估计法进行模型拟合, 并计算每个模型的AIC值, 如下所示:

$$AIC = -2L + 2K \quad (C-1)$$

其中,

L 表示最大对数似然函数, K 是拟合模型的参数数量。计算得到的AIC值越小, 说明模型拟合优度越好。当样本量较少时, 可使用小样本版AIC (AIC_C) 进行模型评价:

$$AIC_C = -2L + 2K \left(\frac{n}{n-K-1} \right) \quad (C-2)$$

式中 L 和 K 的含义同上, n 代表样本数量。当 $n \leq K+1$ 时, 本参数不适用。

贝叶斯信息准则(Bayesian information criterion, BIC)可作为另一种替代方法来评价模型拟合优度, BIC在形式和设计上与AIC相似, 但模型估算的方法为Metropolis-Hastings, 其计算公式为:

$$BIC = -2L + 2K \ln(n) \quad (C-3)$$

附录 E
(资料性)
希尔因果关系判断准则

准则	含义	可信度	分析手段	备注
关联强度 (strength of association)	污染物胁迫和生态受体响应存在很显著的关联	+++	主成分分析	依据污染物是否作为生态受体响应差异的主成分判断因果关系
关联的可重复性 (consistency of association)	对污染物的响应在不同场地和不同调查之间保持一致	++	污染物在其他地方造成的生态受体响应和本次调查相同	根据不同调查者在不同时间、不同地点就污染物对生态受体的影响能否得出一致的结果判断因果关系
特异性 (specificity)	是否只有污染物导致了生态受体响应? 是否污染物只导致了该种生态受体响应?	+	分析污染物胁迫和生态受体响应之间的联系	依据污染物胁迫和生态受体响应之间是否存在一一对应关系判断因果关系
时序性 (temporality)	污染物胁迫时间上先于生态受体响应	+	生态受体随时间响应的比较, 特别是调查污染之前的生态受体状况	通过空间 (如上游/下游) 上/污染发生前后的生态受体状态是否存在差异判断因果关系
合理性 (plausibility)	存在合理的机理解释污染物导致的生态受体响应	++	1. 文献数据 2. 效应可信度 3. 敏感物种的缺失; 4. 诊断性检测; 5. 毒性鉴别;	1. 通过文献资料证实污染物的生态效应产生机制判断因果关系 2. 依据产生效应的生态受体分布范围与污染物暴露范围是否一致判断因果关系 3. 依据敏感物种的是否丧失判断因果关系 4. 某些效应只对特定种类的毒物有反应, 例如金属硫蛋白对金属暴露的响应, 据此判断因果关系 5. 通过处理环境样品来去除或隔离污染物是否能够消除或减少这些污染物导致的生态受体响应判断因果关系
一致性 (coherence)	污染物导致的生态受体响应与污染物对特定物种产生的效应一致	++	1. 文献数据 2. 效应可信度 3. 敏感物种的缺失; 4. 诊断性检测;	依据与合理性和实验证据相同方式响应判断因果关系

			5. 毒性鉴别; 6. 污染物与关键物种响应的剂量-效应关系	
相似性 (analogy)	具有相似结构和作用机制的污染物应当对生态受体产生相似的效应	+	其他地块受类似污染物(相同的化学类别, 具有类似的作用模式)影响而产生的效应与本场地产生的效应相同	根据相似污染物在不同地块产生的效应是否相同判断因果关系
生态梯度 (ecological Gradient)	生态受体响应应当按照污染物浓度梯度分布	++	回归分析 空间分布图	随着与污染源距离的增加, 污染物浓度越低, 对生物的影响也就越小, 反之越大。据此判断因果关系
实验证据 (experimentation)	污染物暴露与生态受体响应在实验中应当存在直接的因果关系	++	污染物与关键物种响应的剂量-效应关系	依据污染物与关键物种响应之间是否存在剂量-效应关系判断因果关系

参考文献

- [1] 中国环境监测总站. 工业企业周边土壤和地下水监测技术指南（试行）[S]. 未正式发布, 2023.
- [2] 国务院. 第三次全国土壤普查土壤生物调查技术规范（修订版）[S]. 2023.
- [3] 生态环境部. 中国土壤环境基准研究推荐受试物种名录[S]. 2025.
- [4] 生态环境部. 生态安全土壤环境基准制定技术指南（征求意见稿）[S]. 未正式发布, 2023.