

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

The guideline for soil ecological risk assessment in industrial contaminated sites

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国生态学会 发布

前言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》，防治工业场地土壤污染，保护生态安全，科学、规范地评估工业污染场地土壤生态风险，制定本标准。

本指南参照 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。

本标准规定了工业污染场地土壤生态风险评估的一般性原则、程序、内容、方法和技术要求。

本标准的附录 A~附录 D 为资料性附录。

本标准为首次发布。

本标准由□□□□□□□□组织制定。

本标准起草单位：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、中山大学、厦门大学。

本标准自发布之日起实施。

本标准由□□□□解释。

工业污染场地土壤生态风险评估技术指南

1 范围

本标准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原则、内容、程序、方法和技术要求。

本标准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。

本标准不适用于放射性物质和致病性生物污染的风险评估。

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 城市用地分类与规划建设用地标准

GB/T 21010 土地利用现状分类

HJ 25.1 场地环境调查技术规范

HJ □□□-20□□ 生态安全土壤环境基准制定技术指南

T/ESC 工矿场地土壤生态风险基准制定技术指南

NY/T 1121.2 土壤pH的测定

NY/T 1121.6 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 污染场地 industrial contaminated site

因堆积、储存、处理、处置或其他方式（如迁移）承载了有害物质的，对人体健康或环境产生危害或具有潜在风险的空间区域。

3.2 生态风险评价 ecological risk assessment of industrial contaminated site

评估污染物对土壤生态系统造成不利影响的过程。

3.3 生态情景 ecological scenario

污染物暴露于受体时，造成差异化生态效应的环境参数的集合。

3.4 生态保护水平 ecological protection level

对特定土地利用方式下维持主要土地用途的生态物种/生态过程的保护程度。

3.5 特征污染物 contaminant of concern

综合工业企业生产原材料、产品和废弃物等信息，以及地块利益相关方、评估人员以及政府部门意见，确定需要进行生态风险评价的污染物。

3.6 生态基准值 criteria of industrial contaminated site

保护生态系统不受影响而允许土壤中污染物蓄积的最大量。

3.7 物种敏感度分布 species sensitivity distribution

使用概率函数拟合污染物对不同物种的毒理数据而构建的数据分布。

3.8 因果关系 causal relationship

污染物与生态受体响应之间作用关系的描述，其中生态受体的响应是污染物作用的结果。

4 工作程序

工业污染场地生态风险评估工作程序包括风险筛选、风险定量以及因果关系判定。评估程序如图 1 所示。

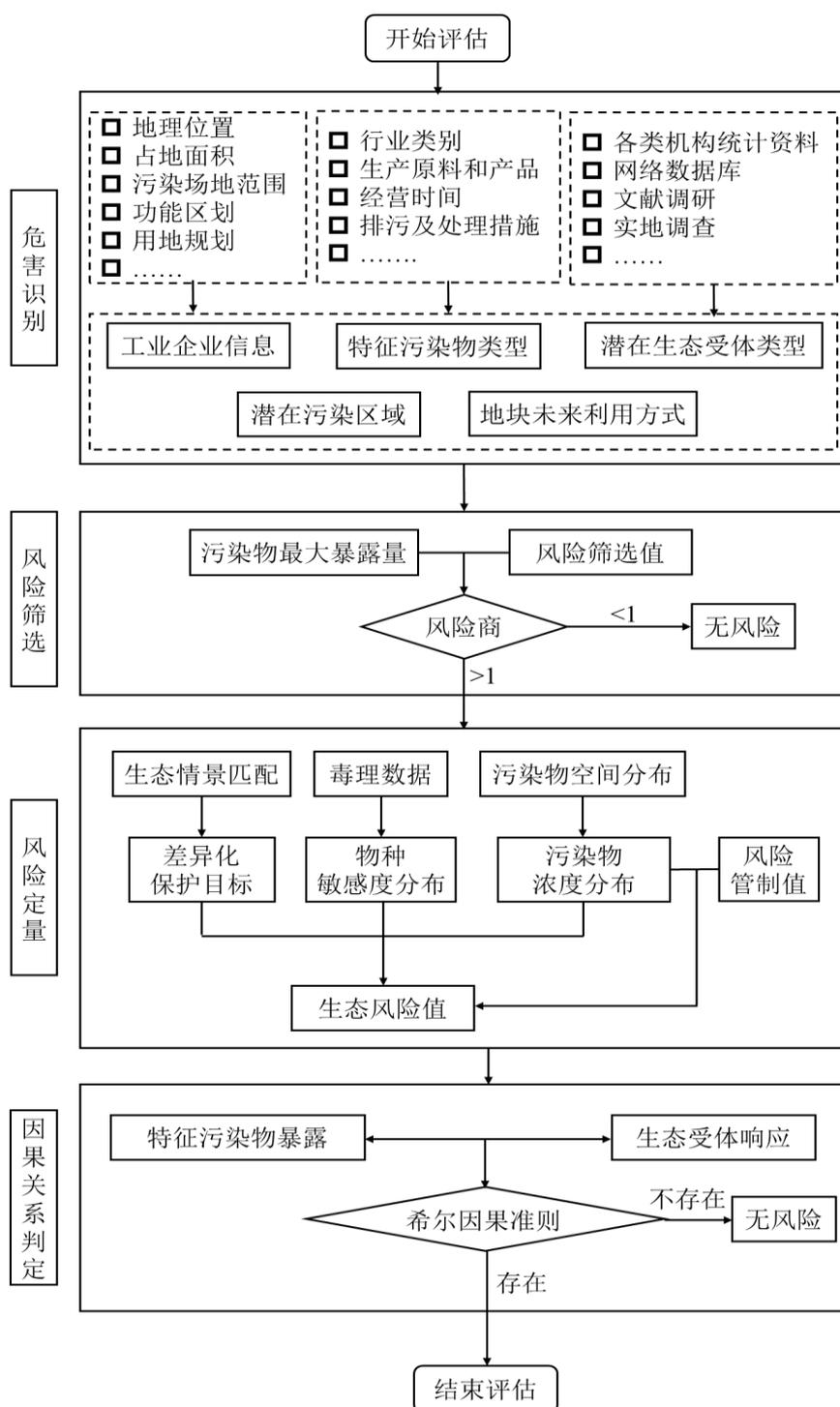


图 1 工业污染场地生态风险评估工作程序

4.1 危害识别

识别工业污染场地基本情况、地块未来利用方式、功能区划、污染物类型、潜在生态受体以及可能的生态效应。

4.2 风险筛选

基于潜在污染区域特征物最大暴露浓度和基准值对场地特征污染物进行筛选，若存在生态风险则进行下一步的风险评估，反之则停止评估。

4.3 风险定量

在对应生态情景下，基于工业污染场地的保护水平，结合污染物暴露浓度分布和毒理数据分布量化污染物的生态风险。

4.4 因果关系判定

依据希尔因果准则（Hill's causal criteria）判断污染物胁迫与该场地土壤生态系统受到影响之间的因果关系。

5 危害识别技术要求

5.1 工业污染场地基本情况、功能区划和用地规划识别技术要求

根据HJ 25.1收集工业企业信息，包括地理位置、水文地质、气候条件、占地面积、污染场地范围等，获取污染场地基本情况。获取企业现状、用地历史相关资料和政府土地利用总体规划，参照GB 50137和GB/T 21010的土地利分类情况，明确场地未来开发利用方式。通过实地调查或者企业统计资料明确企业功能分区，并据此识别潜在污染区域，包括生产区、材料堆放区、废弃物处理堆放区等。

5.2 污染物类型识别技术要求

分析行业类别、生产原料和产品、经营时间、排污及处理措施等信息，从而识别场地特征污染物。

5.3 潜在生态受体识别技术要求

通过各类机构统计资料、网络数据库、文献调研以及实地调查的方式，明确污染场地潜在生态受体，包括陆生植物、土壤动物、土壤微生物以及土壤生态过程。

6 风险筛选技术要求

6.1 实地采样技术要求

针对场地潜在污染区域，按照HJ 25.1采用专业判断布点法制定布点采样计划，分析其中特征污染物浓度。

6.2 基准值的确定

根据《工矿场地土壤生态风险基准制定技术指南》或者《生态安全土壤环境基准制定技术指南》，以保护95%物种不受影响作为保护目标，不考虑安全系数（AF）的前提下制定适用于工业污染场地生态风险评价的风险筛选值，并以此作为风险筛选的基准值。

6.3 风险筛选

根据商值法计算场地生态风险，公式见附录A，其中污染物环境浓度为潜在污染区域特征污染物最高浓度，基准值为风险筛选值。有害商大于1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，风险评估工作停止。

7 风险定量技术要求

7.1 采样技术要求

针对整体场地覆盖范围，根据HJ 25.1制定网格化采样计划并采集表层土壤样品，分析其中存在生态风险的污染物浓度。根据NY/T 1121.2分析土壤pH。根据NY/T 1121.6分析有机质含量。

7.2 情景匹配与保护水平确定技术要求

根据污染场地实际土壤参数和未来土地开发方式，将其与生态情景（附录B）匹配，并确定其保护水平（附录A-2）。

7.3 毒理数据收集

参照《工矿场地土壤生态风险基准制定技术指南》方法收集和筛选毒理数据，并最终获得两个水平的毒理数据。①低效应水平（Level 1）数据：以NOEC、LOEC、EC10等为效应终点的效应水平，此效应水平下计算的生态风险值相对严格；②高效应水平（Level 2）数据：以EC₅₀、LC₅₀等为效应终点的效应水平，此效应水平下计算的生态风险值相对宽松；

7.4 风险计算

按照所获取的毒理数据量依据不同的方式计算风险。

（1）无效应水平（Level 1）毒理数据和半数效应水平（Level 2）毒理数据都满足物种敏感度分布曲线构建需求（毒性数据来源于不低于2类6种不同的生态受体或生态过程），则计算两种水平的生态风险值（一级生态风险和二级生态风险）。即依据污染场地生态情景所对应的保护水平，结合毒性数据的累积分布函数和污染物暴露浓度的互补累积分布函数，得到污染物的联合概率分布曲线，曲线反应各危害水平下暴露浓度超过临界浓度的概率，即为生态风险值。其中毒理数据和暴露浓度分布曲线的拟合方式和选择按照附录C要求进行。

（2）无效应水平（Level 1）毒理数据和半数效应水平（Level 2）毒理数据两者仅其中一种满足物种敏感度分布曲线构建需求（毒性数据来源于不低于2类6种不同的生态受体或生态过程），则同样基于污染场地生态情景所对应的保护水平，采用该类毒性数据的累积分布函数与污染物暴露浓度的互补累积分布函数相结合，得到污染物的联合概率分布曲线并计算风险值。其中毒理数据和暴露浓度分布曲线的拟合方式和选择按照附录C要求进行。

（3）无效应水平（Level 1）毒理数据和半数效应水平（Level 2）毒理数据均不满足物种敏感度分布曲线构建需求，则采用商值法计算风险商（附录A）。其中污染物环境浓度为所测得污染场地暴露分布的95%分位数，基准值为《工矿场地土壤生态风险基准制定技术指南》或者《生态安全土壤环境基准制定技术指南》规定的污染物管制值（保护水平为场地生态情景所对应的保护水平，不考虑安全系数）。最终计算得到的风险商值即为生态风险值。

8 因果关系判定技术要求

结合污染场地状况和希尔因果关系判断准则（附录D）判断污染物与生态受体响应之间的因果关系。

（1）尽量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，则合理地认为污染物暴露与生态受体响应存在因果关系。

（2）如果存在相反的判断结果（例如污染物暴露和受体响应之间存在负相关），那么就不能建立污染物与生态受体响应之间的因果关系，应当分析其他可能的原因。

（3）如果分析结果存在矛盾（例如部分结果证明污染物暴露和受体响应之间的联系，而另一部分结果认为不存在联系则），需要进一步的工作对此进行解释。

附录 A
(资料性)
有害商计算公式

有害商计算公式：

$$HQ = \frac{C}{\theta}$$

其中HQ为有害商，C为污染物环境浓度， θ 为基准值。

附录 B
(资料性)
生态情景及保护水平

根据不同的土壤pH、有机质含量和地块开发利用方式构建不同的生态情景（表1）。用地类别依照GB 50137，建设用地包括GB 50137中建设用地、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、交通设施用地和公用设施用地，城市绿地包括非建设用地以及建设用地中的绿地。

情景 I 为将开发为城市绿地的，土壤pH值在4.0-7.0之间的，有机质含量低于2.0%的一类污染场地。情景 II 为将开发为城市绿地的，且pH值在4.0-7.0之间的，有机质含量大于2.0%或者pH值在7.0-8.5之间的，有机质含量小于2.0%的一类污染场地。情景 III 为将开发为城市绿地，且pH值在7.0-8.5之间的，有机质含量高于2.0%的一类污染场地。情景 IV 为将开发为建设用地的，土壤pH值在4-7之间的，有机质含量低于2.0%的一类污染场地。情景 V 为将开发为建设用地的，且pH值在4.0-7.0之间的，有机质含量大于2%或者pH值在7.0-8.5之间的，有机质含量小于2%的一类污染场地。情景 VI 为将开发为建设用地，且pH值在7.0-8.5之间的，有机质含量高于2.0%的一类污染场地。

在后续生态风险评价时，根据场地的实际各项参数选择对应的情景。针对这些情景分别设定了对土壤生态系统的差异化保护水平，分别为保护95%物种不受危害、保护90%物种不受危害、保护80%物种不受危害和保护50%物种不受危害。

表B.1 工业污染场地生态情景及保护水平

	情景I	情景II	情景III	情景IV	情景V	情景VI
未来开发方式	城市绿地	城市绿地	城市绿地	建设用地	建设用地	建设用地
土壤pH和有机质(OC)	4.0<pH≤7.0且OC≤2.0%	4.0<pH≤7.0且OC>2.0% 或 7.0<pH≤8.5且OC≤2.0%	7.0<pH≤8.5且OC>2.0%	4.0<pH<7.0且OC≤2.0%	4.0<pH≤7.0且OC>2.0% 或 7.0<pH≤8.5且OC≤2.0%	7.0<pH≤8.5且OC>2.0%
保护水平	保护95%的物种不受影响	保护90%的物种不受影响	保护80%的物种不受影响	保护90%的物种不受影响	保护80%的物种不受影响	保护50%的物种不受影响

附录 C

(资料性)

物种敏感性和暴露浓度分布曲线拟合函数、拟合优度评价及优选函数权重确定方法

附表C.1 物种敏感性和暴露浓度分布 曲线拟合函数

拟合函数名称	函数公式	变量及参数含义
Burr III型函数	$F = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\alpha}{x}\right)^\beta\right]^\gamma}$	F — 拟合函数的累积分布函数, % x — 污染物毒性浓度, mg/kg α 、 β 、 γ 、 μ 、 σ — 拟合函数参数
Gamma型函数	$F = \frac{\Gamma_x(\alpha)}{\Gamma_\alpha}$	
Gumbel型函数	$F = e^{-e^{-(x-\alpha)/\beta}}$	
Log-logistic型函数	$F = \frac{1}{1 + \left(\frac{\beta}{x-\gamma}\right)^\alpha}$	
Log-normal型函数	$F = \Phi\left(\frac{\log x - \mu}{\sigma}\right)$	
Weibull型函数	$F = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$	

C.1 拟合函数拟合优度评价

模型拟合优度评价是用于检验总体中的一类数据其分布是否与某种理论分布相一致的统计方法。对于参数模型来说, 检验模型拟合优度的方法推荐使用赤池信息准则(Akaike information criterion, AIC), 使用最大似然估计法进行模型拟合, 并计算每个模型的 AIC 值:

$$AIC = -2L + 2K \quad (\text{Eq. 1})$$

式中 L 表示最大对数似然函数, K 为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。

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

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) 可作为另一种替代来评价模型拟合优度, 它在形式和设计上与 AIC 相似, 但模型估算的方法为Metropolis-Hastings, 下式中的参数含义同上。

$$BIC = -2L + 2K \ln(n) \quad (\text{Eq. 3})$$

C.2 优选函数权重确定

根据各个拟合函数的 AIC 值, 建立不同分布函数与最优分布函数 (最低 AIC 值) 之间的信息差值:

$$\Delta_i = AIC_i - \min(AIC) \quad (\text{Eq. 4})$$

AIC_i 为第 i 个分布的 AIC 值, $\min(AIC)$ 为所有拟合函数中 AIC 的最低值, $\Delta_{AIC} = 0$ 的分布函数为最优拟合分布函数, 一般认为 $\Delta_{AIC} \leq 2$ 的函数拟合度均较好, 建议保留并赋予函数权重 W_i :

$$W_i = \frac{e^{-\frac{1}{2}\Delta_i}}{\sum_{j=1}^m e^{-\frac{1}{2}\Delta_j}} \quad (\text{Eq. 5})$$

上式中 m 为保留的函数个数, Δ_i 含义同上, 则最终SSD模型为多个模型的加权平均模型

附录 D (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果	+	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