

T/CSES 1.1—202X

ICS 13.020.10

CCS Z 04

团 体 标 准

T/CSESXXXX-2023

页岩气开发地块特征污染物生态风险评估 技术导则

Technical guidelines for ecological risk assessment of
characteristic pollutants in shale gas development plots

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国环境科学学会 发布

目 次

前 言	II
1 范围 1	
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 评估原则与程序	3
5 评估方案制定	5
6 风险识别	5
7 暴露评估	6
8 风险表征	7
9 风险等级划分	8
10 不确定度分析	9
11 评估报告编制	9
附 录 A（资料性） 页岩气开发地块污染风险源识别	10
附 录 B（资料性） 阈值指标及毒性评价终点清单	13
附 录 C（资料性） 平均物种丰度（MSAR）模型	17
附 录 D（资料性） 页岩气开发地块生态风险评估报告编制大纲	18
参 考 文 献	19

前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由生态环境部华南环境科学研究所和中国热带农业科学院环境与植物保护研究所提出。

本文件由中国环境科学学会归口。

本文件起草单位：生态环境部华南环境科学研究所，中国热带农业科学院环境与植物保护研究所，中国矿业大学（北京），重庆大学。

本标准主要起草人： 。

1 范围

本文件规定了页岩气开发地块特征污染物生态风险评估的一般性原则、程序、内容和方法。

本文件仅适用于我国页岩气开发区域地表水、地下水和土壤环境特征污染物的生态风险评估。

本文件不适用于页岩气开发中井喷等重大事故的环境应急评估，不适用于放射性污染物的生态风险评估。

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/T 41611 页岩气术语和定义

GB/T 27921 风险管理 风险评估技术

GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）

GB 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

HJ 1231 土壤环境 词汇

HJ 1257 化学物质环境管理 化学物质测试术语

HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

HJ 831 淡水生物水质基准推导技术指南

T/CSES 22 水环境化学污染物复合污染生态风险评估技术指南

T/CSES 23 水环境激素类化学污染物生态风险评估技术

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

页岩气 shale gas

以游离态、吸附态为主，少量溶解态，赋存于富有机质页岩层段中的天然气。

注：一般具有自生自储、大面积连续分布、储层低孔低渗、单井无自然产能或低产，需通过增产改造才能获得工业气流等特点。

3.2

井场 well site

页岩气单井、平台井生产设施的场所。

3.3

页岩气开发地块 shale gas development plots

页岩气开发矿权所在区域。

注：我国页岩气开发涉及污染生态影响的主要有两类：其一为页岩气生产平台，一般每个平台3~6口井，甚至更多；其二为页岩气开发矿权区域，上述的生产平台均分布在该区域内，平台间距在5公里左右。本文件规定的页岩气开发地块属于第二种情况。

3.4

特征污染物 characteristic pollutants

在页岩气开采过程或开采后可能导致潜在污染或对周边环境介质产生影响的特有污染物。

3.5

生态风险评估 ecological risk assessment

应用定量的方法评估、预测各种环境污染物对生物系统可能产生的风险及评估该风险可接受程度的模式或方法。

3.6

危害识别 hazard identification

根据环境介质污染状况调查获取的资料，结合地块土地（规划）利用方式，确定地块的关注污染物、地块内污染物的空间分布和可能的受体。

3.7

受体 receptor

暴露于胁迫因子的生态实体，包括个体、种群、群落以及生态系统。

3.8

暴露评估 exposure assessment

对风险受体暴露环境中化学污染物的暴露量、频率及持续时间的估计或测定过程。

3.9

剂量-反应（效应）关系 dose-response (effect) relationship

剂量与受试生物反应（效应）之间的定量关系。

3.10

效应浓度 effect concentration; EC_x

在给定测试周期内，与对照组相比，导致 x%受试生物出现某观察效应的受试物浓度。

3.11

危害浓度 hazardous concentration (HC_x)

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

3.12

毒性阈值 threshold of toxicological concern

环境介质中（地表水、地下水、土壤）污染物暴露对生物受体（水生生物、陆生生物）产生不良效应的浓度（如半数致死浓度、预测无效应浓度）。

3.13

半数致死剂量（浓度） median lethal dose (concentration); LD₅₀; LC₅₀

在给定测试周期内，导致 50%受试生物死亡的受试物剂量或浓度。

3.14

预测无效应浓度 predicted no effect concentration; PNEC

在现有认知条件下，在受关注环境单元中预计对受试生物不会产生不良效应的最高受试物浓度。

3.15

最低可观察效应浓度 lowest observed effect concentration; LOEC

在给定测试周期内，与对照组相比，在统计学意义上对受试生物产生显著效应 ($p < 0.05$) 的最低受试物浓度。

3.16

无可观察效应浓度 no observed effect concentration; NOEC

在给定测试周期内，与对照组相比，在统计学意义上对受试生物未产生显著效应 ($p \geq 0.05$) 的最高受试物浓度。

3.17

测试终点 test endpoint

与对照组相比，受试物使受试生物发生变化的可测定的特征指标，常用测试终点有死亡率、抑制率等。

3.18

风险表征 risk characterization

综合暴露评估与毒性评估的结果，对风险进行量化计算和空间表征，并讨论评估中所使用的假设、参数与模型的不确定性的过程。

3.19

风险商 risk quotient, RQ

风险商通常用于对某个单一化合物进行毒性效应评估，其计算方式是通过实际检测或者利用模型预测出的环境中该化合物的浓度与表明此物质胁迫程度的毒理数值相比，得到风险商值 (RQ)。

3.20

物种敏感度分布 species sensitivity distribution, SSD

描述不同物种由于生活史、生理构造、行为特征和地理分布等的不同，对某一污染物的敏感性差异遵循的概率分布规律。

3.21

不确定性分析 uncertainty analysis

对风险评估过程的不确定性因素进行综合分析评价。

4 评估原则与程序

4.1 评估原则

4.1.1 科学性

基于现有数据资料和科学手段，根据环境管理需求、评估目的、数据可及性和有效性，科学合理地制定评估目标和评估方案，开展评估分析，确保评估过程的系统性、完整性和评估结论的客观性。

4.1.2 透明性

对生态风险评估的整个过程应进行完整且系统的记录。其中，应特别注意记录评估的制约因素、不确定性和假设及其处理方法、评估中的不同意见和观点、直接影响生态风险评估结果的重大决策等内容。

4.1.3 合理性

生态风险评估中使用普遍接受的科学知识、最新科学证据，在判断中使用常识，评估结果应合理。

4.2 评估程序

页岩气开发地块特征污染物生态风险评估流程如图 1 所示，主要包括评估方案的制定、风险识别、暴露评估、风险表征、风险等级划分、评估报告编制等步骤，编制大纲见附录 D。

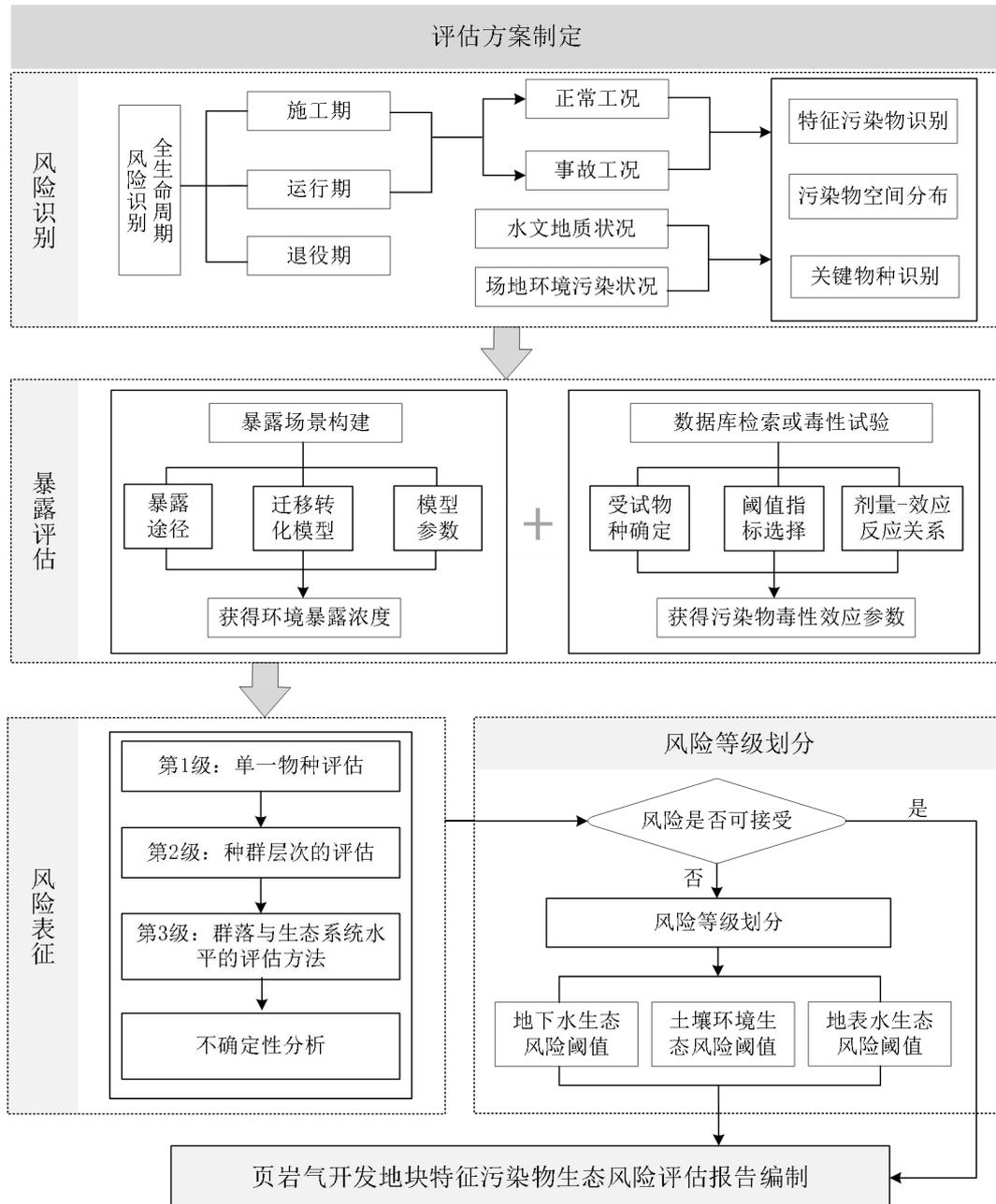


图 1 页岩气开发地块特征污染物生态风险评估程序

5 评估方案制定

生态风险评估前首先应明确评估范围、评估对象、评估目的和评估类别（如正常工况的累积性风险或事故工况的突发性风险）。通过数据调研和分析，确定评估范围（如时间范围、空间范围）和评估内容（明确风险识别、暴露评估、效应评估和风险表征各过程的评估内容和方法），选择合适的阈值指标和可行的评估方法，制定详细的生态风险评估方案。

6 风险识别

6.1.1 全生命周期风险源识别

制定生态风险评估方案时，需识别页岩气开发全生命周期（包括施工期、运行期和退役期）中各个工程环节的风险源（见附录 A.1），对各时期主要环境影响因素及其潜在风险受体进行识别，明确相应的暴露场景。

6.1.2 不同工况状态污染识别

（1）正常工况污染识别

正常工况下，页岩气开发过程污染物的产生特点为长效性、累积性，生态风险评估工作侧重于慢性毒性效应评估。各工程阶段产生的主要污染物种类如附录 A.2（1）所示。

（2）事故工况污染识别

事故工况下，页岩气开发过程污染物的产生特点为突发性、高负荷，生态风险评估工作侧重于急性毒性效应评估。各工程阶段主要事故类型及其主要污染物种类如附录 A.2（2）所示。

6.1.3 暴露场景分析

页岩气开发地块特征污染物环境暴露场景分析，首先要通过工程分析和现场勘察途径明确污染介质的排放种类、排放时间、排放途径、排放频率模式、介质暂存场所、环境污染控制措施等；在上述基础之上，进一步明确污染介质进入环境的暴露途径、污染介质中优先关注污染物的种类、环境关键生物受体和生态过程等，最终构建出污染物的暴露场景。页岩气开发地块特征污染物环境暴露场景分析示例如附录 A.3 所示。

7 暴露评估

7.1 物种筛选

7.1.1 受试物种筛选原则

（1）水生生物筛选原则参考 HJ 831。

（2）陆生生物筛选原则主要包括：① 受试物种应是生态系统的重要组成部分和生态类群代表，并能充分代表不同生态营养级别及其关联性。② 受试物种对污染物质应具有较高的敏感性及毒性反应的一致性，且受试物种的毒性反应有规范的测试终点和方法。③ 用以毒性试验的物种，应在纯净的养殖条件下能够驯养、繁殖并获得足够的数量，或在某一地域范围内有充足的资源，确保有均匀的群体可供实验。

7.1.2 受试物种数量要求

用于基于物种敏感度分布法的生态风险评估，以及针对群落与生态系统层级的风险评估，物种种类数量需要满足以下要求：

（1）水生生物物种数量要求参考 HJ 831，至少包括 3 门 6 科。

（2）陆生生物物种至少涵盖包括初级生产者在内的 3 个不同营养级（包括土壤微生物、土壤无脊椎动物和陆生植物）。

当毒性数据不满足以上最低数据要求时，可采用以下方法：

（1）进行相应的生物毒理学实验以补充相关数据；

（2）对于模型预测获得的毒性数据，经验证后可作为评估数据，但须分析其不确定性。

7.2 特征污染物暴露水平数据来源及要求

7.2.1 环境预测浓度

根据评估目标，通过暴露场景分析，开展基于污染物排放和迁移转化规律及相应的条件假设分析，选择合适的数学模型，构建暴露预测模型，获得预测环境预测浓度（Estimated environmental concentration, EEC）。

7.2.2 环境实测浓度

为更准确获取评估区域特征污染物对受体的暴露量，可通过实验分析测试环境样品（地下水、地表水、固体废物以及生物样品）中目标污染物的环境实测浓度（Monitoring environmental concentration, MEC）。不同介质中目标污染物的分析测试应按相关标准和技术规范的要求进行。

7.3 阈值指标选择

（1）正常工况下生态风险评估阈值指标以慢性毒性指标（如 NOEC）为主。

（2）事故工况下生态风险评估阈值指标以急性毒性指标（如 LC₅₀、LD₅₀）为主。

（3）在开展种群与群落、生态系统层级的生态风险评估时，部分模型还需要其他个体水平指标以及种群水平指标。其中，个体水平指标包括个体数量、死亡率、生殖状态、生长速率、新陈代谢、个体大小、年龄、个体生活史和个体环境暴露特征及属性等；种群水平指标包括生物量、种群数量、种群密度、平衡数量、自然增长率、性别比例、遗传多样性和可用的生境空间分布特征等。

附录 B.1 为推荐的毒性参数及评估终点指标，附录 B.2 为生态风险评估相关的阈值清单。

7.4 剂量-反应（效应）数据获取

（1）数据来源

特征污染物的剂量-反应（效应）数据主要包括实验室测试数据、国内外毒性数据库数据、公开发表的文献或报告等。

在有条件时，应当开展本土关键物种的剂量-反应（效应）试验，以获得能反映评估区域生态环境实际特征的毒性参数。

当剂量-效应数据难以获取时，可采用某种生物的 LOEC 值，或通过数学模型（如评估因子法、排序法和物种敏感性分布法等）外推获得特征污染物的 PNEC 值。

（2）数据筛选原则

从数据库或文献资料中获取毒性参数时，数据筛选需遵循以下原则：

① 数据可靠性：是否使用国际、国家标准测试方法以及行业技术标准，操作过程是否遵循良好实验室规范；对于非标准测试方法的实验，所用实验方法是否科学合理；实验过程和实验结果的描述是否详细；文献是否提供了原始数据。

② 数据相关性：测试终点与生态风险评估内容是否相关；测试终点与种群水平是否相关；测试终点与作用模式是否相关。

③ 数据准确性：当一个物种有多个测试终点时，选择最敏感的测试终点；当一个测试终点有多个毒性数据时，选择这些值的几何均值作为该测试终点的毒性数据。

8 风险表征

8.1 单一污染物风险表征

当针对单一特征污染物进行生态风险评估时，多级生态风险评估方法可满足不同层次要求的生态风险评估需要，其方法主要包括：针对单一物种的商值法、针对种群的物种敏感性分布法（SSD）、

针对群落与生态系统的联合概率曲线法（JPC）等。

第1级：单一物种评估

商值法：以环境实测浓度（MEC）或环境预测浓度（EEC）表征，毒性阈值以预测无效应浓度（PNEC）进行表征（式1和式2）。

$$PNEC = \frac{EC_{50} \text{ or } LC_{50}}{f} \quad (\text{式1})$$

$$RQ = \frac{MEC \text{ or } EEC}{PNEC} \quad (\text{式2})$$

式中：PNEC——预测的无效应浓度；

f ——用于推导 PNEC 的安全系数。

第2级：种群层次的评估

采用物种敏感性分布法（SSD），获得保护 95% 的物种不受影响情况下所允许的最大环境有害浓度（HC₅）作为 PNEC 值后，再采用商值法进行表征。当 RQ 值 > 1 时，获取 HC₁₀、HC₅₀、HC₉₀ 的数值，通过比较环境实测浓度与 HC_x 值，分析评估区域受特征污染物影响的物种比例，进一步表征其风险程度。

注：在生态风险评估的要求较严且物种繁殖数据可获得情况下，可采用平均物种丰度模型（MSAR）来进行评估。MSAR 模型过程步骤分为 3 部分，具体见附录 C。

第3级：群落与生态系统水平的评估方法

结合暴露分布（超出概率，环境暴露浓度数据）和物种敏感度分布（毒性效应数据），建立联合概率曲线（joint probability curve, JPC），获得暴露浓度超出一定效应的概率。进一步计算 JPC 的累计面积，即整体风险概率（overall risk probability, ORP），用于表征整体生态风险。

整体风险概率按照公式（3）计算。

$$ORP = \int_0^1 EPr(x) dx \quad (\text{式3})$$

式中：EPr(x)——x% 生物受到影响所对应的超出概率（0 ≤ x ≤ 1）。

利用蒙特卡洛等统计方法模拟风险商分布曲线并计算超出指定风险商的概率，综合评估风险区域特征污染物的生态风险。

8.2 复合污染物风险表征

（1）对于作用机制相同的多种污染物，首先对每种污染物（组分 i ）进行风险表征，然后采用加合模型对所有污染物进行表征，并以危害指数（HI）量化其风险（式4）：

$$HI = \sum_{i=1}^n \frac{EL_i}{AL_i} \quad (\text{式4})$$

式中， EL_i 为组分 i 的暴露水平， AL_i 为组分 i 的环境可接受水平。若暴露水平以 MEC 或 EEC 表征，环境可接受水平以 PNEC 表征，则 EL_i/AL_i 值即为组分 i 的风险商，混合风险商即为单个组分的风险商之和，因此可根据混合风险商的大小表征其风险。

（2）对于作用机制不同的多种污染物，其生态毒性效应无法叠加，则以单种污染物的最大风险值代表其复合污染的风险值。

9 风险等级划分

9.1 单一物种的风险等级划分

当 $RQ \leq 1$ ，表明特征污染物对评估区域内某物种的生态风险可以接受。

当 $RQ > 1$ ，表明特征污染物对评估区域的某物种存在不可忽视的生态风险； RQ 值越高，表明其生态风险越高。

9.2 种群层次的风险等级划分

当 $MEC \leq HC_5$ 时，表明特征污染物对评估区域内生物种群的生态风险可以接受。

当 $MEC > HC_5$ 时，则进一步比较 MEC 与 HC_x 值 ($x=10, 50, 90$)。如 $HC_{50} < MEC < HC_{90}$ 时，表明特征污染物对评估区域内不少于 50% 的种群数量具有显著的生态风险。

9.3 群落与生态系统水平的风险等级划分

采用总体风险概率来定量表征群落与生态系统的风险水平。

当 $ORP < 0.1$ ，表明特征污染物对群落与生态系统的潜在生态风险可以接受。

当 $0.1 \leq ORP < 0.5$ ，表明特征污染物对群落与生态系统具有不可忽视的生态风险，需要进行风险预警或开展更严格的风险评估。

当 $0.5 \leq ORP < 1.0$ ，表明特征污染物对群落与生态系统具有很高的生态风险，需要采取管控措施。

9.4 复合污染物等级划分

复合污染物的生态风险结果以危害指数 (HI) 表征后，参照单一污染物的风险等级 (RQ 值等) 进行划分。

10 不确定度分析

(1) 不确定来源分析。页岩气开发地块特征污染物生态风险评估不同阶段均可能存在一定的不确定性，其不确定性来源包括危害识别过程不确定性、暴露场景设置不确定性、模型选择不确定性、参数选择不确定性和风险表征方法的不确定性。开展不确定性影响方向和影响程度综合对比，分析不确定性来源对评估结果的叠加影响，得出是否高估或者低估评估结果以及评估结果是否可靠的分析讨论。

(2) 不确定性的量化分析。当生态风险评估值为不可忽视水平时 (如 $RQ > 1$, $ORP > 0.1$)，应进一步量化其不确定性，以风险值的 95% 置信区间为其不确定性范围。其中，商值法可采用概率风险分析方法开展不确定性的量化分析；SSD 法以拟合优度检验在 0.05 显著水平上的、可拟合度低于 95% 统计值的输入数据值可接受，以此给出 95% 置信区间的数值。

11 评估报告编制

评估报告由评估方案 (包括评估目的、评估范围、评估内容、评估方法、工作程序等)、特征污染物暴露水平表征、特征污染物风险表征、不确定性分析、风险评估结论组成。

附 录 A
(资料性)
页岩气开发地块污染风险源识别

A.1 全生命周期风险源识别

生态风险评估需在对各时期的主要的环境影响因素及其潜在的风险受体识别基础之上，构建暴露场景以进行生态风险评估。页岩气开发地块全生命周期（包括施工期、运行期和退役期）各个工程环节的风险源如表 A.1-1 所示。从环保要求和开采实践看，施工期主要潜在生态环境影响环节为钻井作业，生产期主要产污为返排液（气田水）。按作业规程，钻井废水及钻屑等基本不与环境接触（钻井泥浆不落地工艺），但可能存在跑冒滴漏风险（管理到位情况下，该风险发生率低）。

表 A.1-1 全生命周期主要污染物及环境影响

名称	建设阶段	建设内容	可能产生的环境影响
主体工程	钻前工程	井场建设，进场公路建设，平台水池建设，泥浆储备罐的基础建设，活动房建设等	临时占用部分土地，改变土地利用现状，破坏植被，改变自然地形地貌，可能导致水土流失，施工扬尘、噪声、固废等。
	钻井工程	平台内进行钻井	钻井过程产生废水、废气、固废和噪声等。
	压裂测试工程	射孔及压裂完井	泵注噪声、压裂返排液，测试放喷过程产生废气和放喷噪声以及热辐射。
辅助工程	给水	井场储水罐	占用部分土地，改变土地利用现状。
	排水	旱厕建设、废水收集池	改变土地利用现状，渗漏到周围环境
	供电	备用柴油发电机组（电网停电时使用）	设备运行过程产生废水、噪声
	泥浆循环系统	安装泥浆循环系统包括泥浆循环罐、振动筛、离心机等设备。	设备运行过程产生废水、噪声、废泥浆、钻井岩屑等。
环保工程	清洁化操作平台	岩屑收集罐、隔油罐、沉淀罐、清水回用罐、材料堆放棚、螺旋传输装置	用于暂存钻井废水，暂存和处置钻井岩屑和废钻井泥浆，若处置不当或者发生泄漏现象，导致土壤、植被破坏以及地下水、地表水等污染。
	放喷池	修建放喷池配备 10m ² 集酸池	测试放喷用，临时占用土地，测试放喷废气、废液、噪声等
	平台水池	修建平台水池	暂存钻井用水、钻井作业废水及压裂返排液。
	清污分流	修建场内排水明沟，接入方井；修建雨水沟实行清污分流。	可能造成水土流失，处置不当或者发生泄漏现象，导致土壤、植被破坏以及地下水等污染。
	分区防渗	对井场区域、平台水池，清洁化生产操作平台和放喷池等采取分区防渗。	/
	废油桶	废油桶放置平台	若发生泄漏现象，导致土壤、植被破坏以及地下水等污染。

A.2 不同工况状态下污染物识别

(1) 正常工况

正常工况下，钻井工程产生污染物的特点是长效性、累积性。页岩气开发过程的产污环节及其产生的污染介质和主要污染物类型如图 A.2-1 所示。

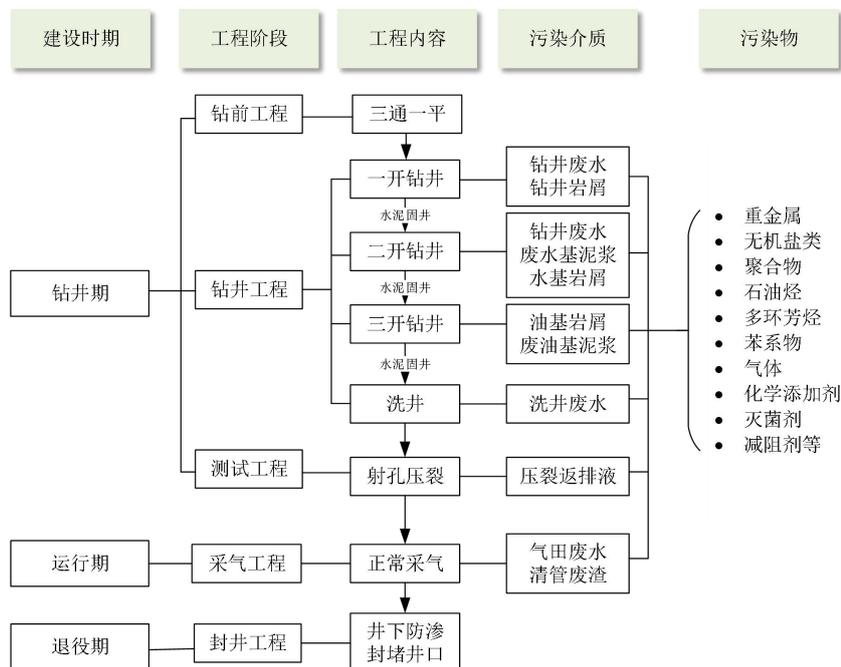


图 A.2-1 正常工况污染物产生图

注：压裂返排液、废水、岩屑和气田水为重点评估对象

(2) 事故工况

事故工况下，钻井工程产生污染物的特点是突发性、高负荷。页岩气开发过程可能出现事故类型及其产生的污染介质和主要污染物类别情况如图 A.2-2 所示。

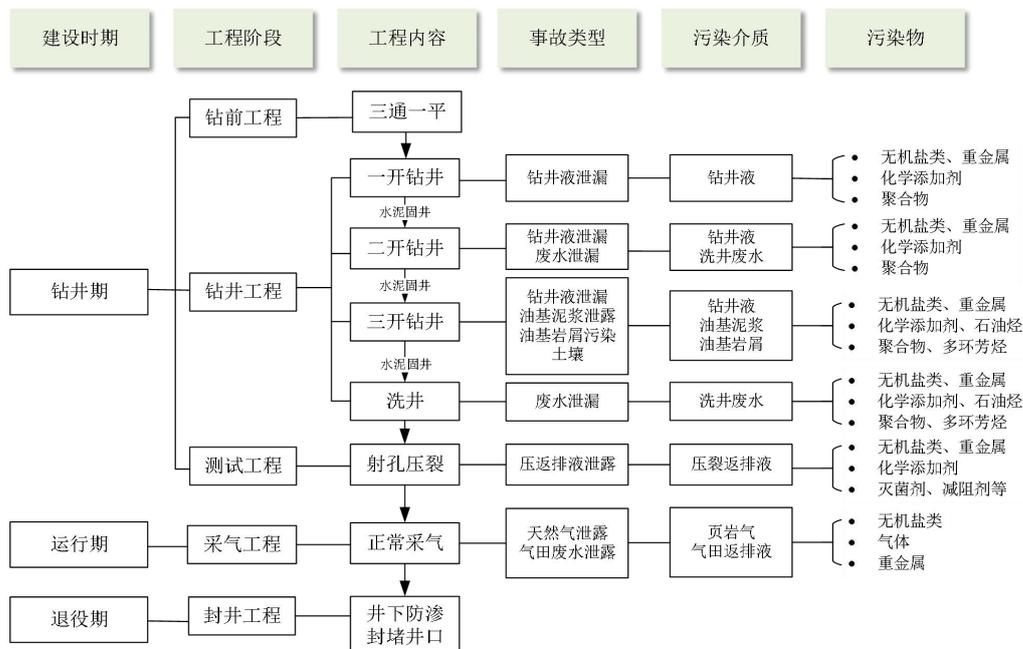


图 A.2-2 事故工况污染物产生图

注：压裂返排液、废水、岩屑和气田水为重点评估对象

A.3 页岩气开发地块特征污染物环境暴露场景分析示例

页岩气开发各工程阶段（井场建设、钻井、压裂试气、采气、集输等）产生的污染介质及其所含污染物类型非常复杂，因此应从污染介质特征和化学物质生态毒性效应等方面筛选优先关注的特征污染物，从而进一步分析其环境暴露场景。

（1）页岩气开发过程产生的污染介质主要为废水和固体废弃物。废水主要包括钻井废水、洗井废水、压裂返排液以及废水处理站的尾水等；固体废弃物主要包括钻井岩屑、水基岩屑、油基岩屑、清管废渣和污水处理站污泥等。

（2）页岩气开发过程主要产污环节及其潜在的生态环境风险源主要包括：钻井工程中发生的钻井液泄漏（一开至三开钻井）、洗井废水泄漏（洗井），测试工程中发生的压裂返排液泄漏（射孔压裂），以及井场平台废水池或废水处理站发生的废水泄漏（包括管道跑冒滴漏、池底底部出现裂缝）等情景时，则会对地块及其周边地表水、土壤和地下水造成污染。水基岩屑和油基岩屑等固体废弃物产生量大，处理成本高，堆存、转运和处理处置过程对土壤及地下水都具有潜在威胁；大量堆存的固废在降水淋溶情况下，通过地表径流液会对周边地表水造成污染。作业事故引发的溢流井喷等事故工况则会给周边生态环境带来很大的生态风险。

（3）页岩气开发使用的钻井液、压裂返排液等添加种类繁多的化学药剂（石油烃类、重金属、无机盐、杀菌剂、高分子有机化合物），且地层地球化学物质（无机盐、重金属等）也会被钻井液或压裂返排液带出地表。目前，受关注的污染物种类主要有以下几种：季铵盐类化合物、非离子表面活性剂、芳烃化合物、重金属、高含量无机盐。结合污染物生态毒理效应研究结果，优先关注的特征污染物包括多环芳烃、重金属（Ba, Sr, As, Pb, Tl, Cd）、壬基酚、戊二醛等。

（4）地表水水体的关键受体主要包括浮游生物、底栖动物、甲壳类和鱼类；微生物群落变化也是指示地表水体是否受污染物影响的重要指标。

（5）土壤环境污染物的关键受体根据暴露途径分成土壤直接接触、土壤和食物摄入、土壤-地下水迁移3类。土壤直接接触途径是土壤环境生态安全阈值确定的主要暴露途径，并以陆生植物（生产者）、无脊椎动物（消费者）和土壤微生物（分解者）及其主导的生态功能作为该途径的关键受体。

附录 B

(资料性)

阈值指标及毒性评价终点清单

B.1 毒性参数及评估终点指标清单

表 C.1 毒性参数及评估终点指标清单

	属性	EPA 先例	毒性指标	毒性效应终点	优点
个体水平	死亡 个体异常 生存、丰度	脊椎动物 脊椎动物/甲壳类动物/植物 濒危动物/候鸟/海洋哺乳动物/ (无) 脊椎动物	急性毒性: 基于活动抑制效应的半数效应浓度 (EC ₅₀) 半数致死浓度 (LC ₅₀) 有效残留剂量 (ER ₅₀) 半数抑制浓度 (IC ₅₀) 致死残留剂量 (LR ₅₀) 等	生长抑制情况(个体大小、 年龄、数量、生活史、环 境暴露等)、致死状况、 繁殖状况以及其他生化指 标等	实验周期较短;暴露 条件往往保持恒定
种群水平	灭绝 丰度 繁殖率	脊椎动物 脊椎动物/甲壳类动物 脊椎动物/植物	慢性毒性: 基于生长和繁殖为毒性效应测试终点的无观察效应浓 度 (NOEC) 最低可见效应浓度 (LOEC) 无可见效应剂量 (NOEL)	种群大小、种群数量、种 群恢复时间、性别比例、 基因分布、多样性、耐受 性分布、生态群落稳定性、 种群灭绝时间和种群增长 率等	综合了个体毒性效 应、相互竞争、栖息 地迁移以及其他生 物和非生物因素的 累积影响;减少评估 的不确定性

群落与生态系统水平	丰度 繁殖力 面积 功能 自然结构	水体群落 植物集群 湿地/珊瑚礁/濒危的生态系统 湿地水生态系统	无可见效应残留剂量 (NOER) 最大无作用剂量 (LOEL) 最低可见效应残留剂量 (LOER) 最大容许浓度 (MATC) 慢性值 (CVs) 等 上述指标用于推导预测无效应浓度 (PNEC)		
-----------	-------------------------------	---	---	--	--

B.2 生态风险评估常用阈值指标清单

表 B.2 生态风险评估常用阈值指标清单

序号	指标中文	英文全称	英文缩写	定义	说明	
1	预测环境浓度	Predicted environmental concentration	PNC	环境中化学物质的浓度	常无法直接获得, 需利用急慢性毒性数据推导	针对页岩气不同评估对象, 可分为 PEC 地表水和 PEC 土壤等
2	预测无效应浓度	Predicted no-effect concentrations	PNEC	化学物质不会对生物产生不利效应的最大暴露剂量或浓度		针对不同的评估对象可分为 PNEC _水 、PNEC _{沉积物} 、PNEC _{土壤} 、PNEC _{微生物} 等
3	半数致死浓度	Median lethal concentration	LC ₅₀	能引起 50%受试生物某种死亡的浓度	以急性毒性数据作为毒性效应终点指标	
4	半数效应浓度	Median effective concentration	EC ₅₀	能引起 50%受试生物某种效应变化的浓度		
5	半数抑制浓度	Median inhibition concentration	IC ₅₀	能引起受试生物的某种效应 50%抑制的浓度		
6	半数致死剂量	Median lethal dose	LD ₅₀	指化学物质引起一般受试对象死亡所需的剂量		
7	绝对致死剂量	Absolute lethal dose	LD ₁₀	指化学物质引起受试对象全部死亡所需要的最低剂量或浓度		

8	最大耐受剂量	Maximal tolerance dose	LD ₀	指化学物质不引起受试对象出现死亡的最高剂量	
9	最小致死剂量	Minimal lethal dose	LD ₀₁	指化学物质引起受试对象中个别成员出现死亡的剂量	
10	半数耐受量	Median tolerance limit	MLT	指水中生物在一定时间内引起 50%受试水生生物出现死亡的浓度	需注明观察时间以及水生生物的物种
11	半数致死时间	Median lethal time	LT ₅₀	指在一特定的毒物浓度下，受试动物死亡一半时所需要的时间	以时间作为毒性效应终点指标
12	无观察效应浓度	No observed effect concentration	NOEC	指没有观察到效应的化学物质的最高浓度	以慢性毒性数据作为毒性效应终点指标
13	最低观察效应浓度	Lowest observed effect concentration	LOEC	指最少可观察到效应的化学物质的浓度	
14	无观察效应水平	No observed effect level	NOEL	指不会对生物引起效应的最高浓度	
15	最低观察效应水平	Lowest observed effect level	LOEL	指不会引起生物效应的最大化学物质浓度	
16	最大容许浓度	Maximum acceptable toxicant concentration	MATC	环境中有害物质的容许浓度，经多次有代表性的采样测定时，不得超过的浓度。	
17	慢性值	Chronic value	CV _s	无可见效应浓度（NOECs）和最低可见效应浓度（LOECs）的几何平均值	
18	致死残留剂量	Lethal tissue residue	LR ₅₀	经生物体内消化吸收后引起 50%生物死亡的化学物质浓度	以生物蓄积/生物浓缩系数作为毒性效应终点的指标
19	有效残留剂量	Effective tissue residue	ER ₅₀	经生物体内消化吸收引起 50%生物死亡后残留的化学物质浓度	
20	无可见效应残留剂量	No observed effects tissue residue	NOER	指不会对生物引起效应的残留浓度	

T/CSES XXX—202X

21	最低可见效应残留剂量	Lowest observed effects tissue residue	LOER	指最少可观察到效应的化学物质在生物体内残留的浓度	
22	生物累积系数	Bioaccumulation factor	BAF	生物累积是一种化学物质通过自然环境中发生的所有暴露途径被生物体吸收的过程，其程度表示为生物累积系数	
23	生物浓缩系数	Bioconcentration factor	BCF	生物浓缩是指有机体仅通过生物呼吸道和皮肤表面从周围环境中吸收化学物质的过程，其程度表示为生物浓缩系数	
24	生物放大系数	Biomagnification factor	BMF	在生态系统的同一食物链上，某种元素或难分解化合物在机体中的浓度随着营养级的提高而逐步增大的现象，其程度用浓缩系数来表示。	
25	短期暴露基准（或基准最大浓度/急性基准值）	Criteria maximum concentration	CMC	1h 内污染物浓度不可超过的标准限值	/
26	长期暴露基准（或基准持续浓度/慢性基准值）	Criteria continuous concentration	CCC	4d 的平均时间内污染物浓度不可超过的限值	
27	个体水平指标	个体数量、死亡率、生殖状态、生长速率、新陈代谢、个体大小、年龄、个体生活史和个体环境暴露等特征及属性			
28	种群水平指标	生物量、种群数量、种群密度、平衡数量、自然增长率、性别比例、遗传多样性和可用的生境空间分布等特征			

附录 C

(资料性)

平均物种丰度 (MSAR) 模型

MSAR 模型从实验数据中得到的是完整的暴露-反应曲线。此模型过程步骤分为三部分：

(1) 从文献及毒性试验中获得物种特异性暴露-繁殖和存活的关系，公式如下：

$$\hat{Y}_{rep} = 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{C}{EC50}\right)^\beta\right]}$$

式中： \hat{Y}_{rep} 表示暴露浓度 c 下的预期反应分数， EC_{50} 表示繁殖的半数最大有效浓度， β 表示曲线最陡部分的斜率。

(2) 物种对生存和繁殖的特定反应转化为对丰度的反应，公式如下：

$$\frac{r(c)}{r(0)} = \frac{-\ln\left(1 + \frac{C}{EC(50)}^{\beta_{rep}}\right) - \ln\left(1 + \frac{C}{LC(50)}^{\beta_{surv}}\right)}{\ln(R_0(0))} + 1$$

$$\frac{K(c)}{K(0)} = \frac{r(c)}{r(0)} = \frac{-\ln\left(1 + \frac{C}{C(50)}^\beta\right)}{\ln(R_0(0))} + 1$$

式中： $r(c)$ 表示暴露浓度 c 下的内在增长率； $r(0)$ 表示未受干扰的内在增长率； $R_0(0)$ 表示未受干扰的终身繁殖力； K 表示承载能力。

(3) 物种特定的暴露-丰度关系被合并成暴露-反应 MSA 关系，公式如下：

$$MSA(c) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{K(c)_i}{K(0)_i}$$

式中： $MSA(c)$ 是浓度 c 下所有物种的平均丰度，表示为 0 到 1 的比率， n 是其推导中包含的物种数。由此产生的 MSA 曲线表示化学暴露与 MSA 之间的关系，称为 MSAR。

附录 D

(资料性)

页岩气开发地块生态风险评估报告编制大纲

D.1 前言

D.1.1 页岩气开发地块生态风险评估的背景

D.1.2 标准依据

D.2 评估区域概况

D.2.1 评估区域的自然环境概况，包括：地理位置、地形地貌、气候特征、水文特征、自然资源等

D.2.2 评估区域的社会经济概况，包括：人口、经济发展、文物保护等

D.3 页岩气开发地块工程概括

D.3.1 项目工程概括，包括：建设地点、建设内容、规模及投资情况、主要设计参数

D.3.2 污染排放情况，包括：污染物产生情况、环保设施建设及运行情况

D.4 评估区域生态环境质量调查与监测

D.4.1 监测方案与结果分析，包括：监测布点、监测因子、监测频次、检测分析方法、检测结果及分析评价

D.4.2 生态调查与结果分析，包括：生态调查的范围、调查方法、调查结果与分析

D.5 生态风险评估内容

D.5.1 进入生态风险评估的特征污染物清单及其理化性质

D.5.2 生态风险评估方法

D.5.3 生态风险评估结果分析

D.6 生态风险评估结论与建议

D.7 附件

参 考 文 献

- [1] 李慧珍, 裴媛媛, 游静. 流域水环境复合污染生态风险评估的研究进展. 科学通报, 2019, 64(33): 3412~3428.
- [2] 冯永亮. 基于物种敏感度分布的概率生态风险评价的 Matlab 实现. 唐山学院学报, 2020, 33(6): 18-23, +33.
- [3] 李霁, 刘征涛, 李捍东, 等. 污染场地土壤生态毒性诊断结果评判方法[C]// 化学物质环境风险评估与基准/标准国际学术研讨会, 中国毒理学会环境与生态毒理学专业委员会学术研讨会, 中国环境科学学会环境标准与基准专业委员会学术研讨会. 2015.
- [4] Verdonck, F.A.M.; Aldenberg, T.; Jaworska, J., et al., 2003. Limitations of current risk characterization methods in probabilistic environmental risk assessment. *Environmental Toxicology and Chemistry* 22 (9): 2209-2213.
-