

附件 2:  
ICS 号  
中国标准文献分类号

# 团 体 标 准

T/CAEPI □□—20□□

---

## 固体废物资源化产品环境风险评估通用指南

General guidance for environmental risk assessment of products from solid waste  
recycling

（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。

20□□-□□-□□发布

20□□-□□-□□实施

---

中 国 环 境 保 护 产 业 协 会      发 布



目 次

前 言 ..... II

1 适用范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 2

4 总体要求 ..... 5

5 危害识别技术要求 ..... 6

6 暴露评价技术要求 ..... 9

7 危害表征技术要求 ..... 12

8 风险表征技术要求 ..... 13

附录 A（资料性）固体废物资源化产品暴露场景分析 ..... 17

## 前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》等法律法规，保护生态环境和人体健康，促进固体废物资源化利用，规范和指导固体废物资源化产品的风险评价，制定本标准。

本标准规定了固体废物资源化产品环境风险评价的总体要求，以及危害识别、暴露评价、危害表征、风险表征等环节的技术要求。

本标准为首次发布。

本标准由中国环境保护产业协会组织制定。

本标准起草单位：清华大学、生态环境部固体废物与化学品管理技术中心、深圳市环保科技集团股份有限公司、北京金隅北水环保科技有限公司、江苏一夫科技股份有限公司、深圳市绿环再生资源开发有限公司、青岛斯坦德衡立环境技术研究院有限公司、深圳星河环境股份有限公司、北京建工资源循环利用投资有限公司、天津建昌环保股份有限公司、柳晶科技集团(常州)股份有限公司、北京理工大学、北京交通大学、天津壹鸣环境科技股份有限公司。

本标准主要起草人：XXX、XXX、XXX。

本标准由中国环境保护产业协会 2022 年□□月□□日批准。

本标准自 2022 年□□月□□日起实施。

本标准由中国环境保护产业协会负责管理，由起草单位负责具体技术内容的解释。在应用过程中如有需要修改与补充的建议，请将相关资料寄送至中国环境保护产业协会标准管理部门（北京市西城区扣钟北里甲 4 楼，邮编 100037）。

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这些专利的责任。

# 固体废物资源化产品环境风险评价通用指南

## 1 适用范围

本标准规定了固体废物资源化产品环境风险评价的术语和定义，总体要求，以及危害识别、暴露评价、危害表征、风险表征等环节的技术要求。

本标准适用于固体废物资源化产品环境风险评价。

## 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标准必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本标准；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

|              |  |
|--------------|--|
| GB/T 2828.1  | 计数抽样检验程序 第 1 部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划 |
| GB 3838      | 地表水环境质量标准                              |
| GB/T 4754    | 国民经济行业分类                               |
| GB 5085.3    | 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别                        |
| GB 5085.6    | 危险废物鉴别标准 毒性物质含量鉴别                      |
| GB 5085.7    | 危险废物鉴别标准 通则                            |
| GB 5749      | 生活饮用水卫生标准                              |
| GB 13078     | 饲料卫生标准                                 |
| GB/T 14848   | 地下水质量标准                                |
| GB 15618     | 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）               |
| GB/T 27921   | 风险管理 风险评估技术                            |
| GB/T 30810   | 水泥胶砂中可浸出重金属的测定方法                       |
| GB 34330     | 固体废物鉴别标准 通则                            |
| GB/T 34708   | 化学品风险评估通则                              |
| GB 36600     | 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）              |
| GBZ 230—2010 | 职业性接触毒物危害程度分级                          |

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| GBZ/T 298                               | 工作场所化学有害因素职业健康风险评估技术导则         |
| HJ 25.3                                 | 建设用地土壤污染风险评估技术导则               |
| HJ/T 154                                | 新化学物质危害评估导则                    |
| HJ 169                                  | 建设项目环境风险评价技术导则                 |
| HJ/T 299                                | 固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法            |
| HJ/T 300                                | 固体废物 浸出毒性浸出方法 醋酸缓冲溶液法          |
| HJ 557                                  | 固体废物浸出毒性浸出方法 水平振荡法             |
| HJ 682                                  | 污染场地术语                         |
| HJ 781                                  | 固体废物 22 种金属元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法 |
| HJ 839                                  | 环境与健康现场调查技术规范 横断面调查            |
| HJ 875                                  | 环境污染物人群暴露评估技术指南                |
| HJ 876                                  | 儿童土壤摄入量调查技术规范 示踪元素法            |
| HJ 877                                  | 暴露参数调查技术规范                     |
| HJ 1091                                 | 固体废物再生利用污染防治技术导则               |
| HJ 1111                                 | 生态环境健康风险评估技术指南 总纲              |
| HJ 1229                                 | 优先评估化学物质筛选技术导则                 |
| SL/Z 467                                | 生态风险评价导则                       |
| WS/T 777                                | 化学物质环境健康风险评估技术指南               |
| 化学物质环境与健康危害评估技术导则（试行）（公告 2020 年 第 69 号） |                                |
| 化学物质环境与健康暴露评估技术导则（试行）（公告 2020 年 第 69 号） |                                |
| 化学物质环境与健康风险表征技术导则（试行）（公告 2020 年 第 69 号） |                                |

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1

**固体废物** **solid waste**

在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态和置于容器中的气态的物品、物质以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。经无害化加工处理，并且符合强制性国家产品质量标准，不会危害公众健康和生态安全，或者根据固体

废物鉴别标准和鉴别程序认定为不属于固体废物的除外。

### 3.2

#### 固体废物资源化产品 products from solid waste recycling

固体废物直接作为原料利用，或通过分离、纯化、合成等工艺进行物质资源化利用后产生的可以作为替代原料或产品的物质。

[来源：HJ1091—2020，3.2，有修改]

### 3.3

#### 评价受体 receptor of assessment

暴露于对人体健康、生态系统实体及其相关属性产生不良影响的各种物理、化学、生物因素下的单个或一组物种、生态系统的功能特征、特殊生境等。

[来源：SL/Z 467—2009，3.5，有修改]

### 3.4

#### 危害识别 hazard identification

识别和确定有害物质所具有的能够对人体健康、生态系统实体及其相关属性产生不良影响的类型、性质和程度的过程。

[来源：化学物质环境与健康危害评估技术导则（试行），3.4，3.5，有修改]

### 3.5

#### 暴露场景 exposure scenario

有害物质经由不同方式迁移并到达暴露受体接触面的一种假设性场景描述，即用来辅助评估和量化暴露如何发生的一系列事实、推定和假设。

[来源：HJ 1111—2020，3.4，有修改]

### 3.6

#### 暴露途径 exposure pathway

有害物质释放后到达生态环境受体、或经人体接触后进入人体（如摄食、吸入、经皮）的路线或方式。

[来源：化学物质环境与健康暴露评估技术导则（试行），3.3，有修改]

### 3.7

#### 暴露评价 exposure assessment

确定有害物质暴露场景和暴露途径，并估算和测定环境生物和人体的暴露程度（浓度或剂量）的过

程。

[来源：化学物质环境与健康暴露评估技术导则（试行），3.8，有修改]

### 3.8

#### **暴露参数 exposure factors**

描述评价受体暴露特征和行为的参数。

[来源：化学物质环境与健康暴露评估技术导则（试行），3.10，有修改]

### 3.9

#### **预测无效应浓度 predicted no effect concentration (PNEC)**

在现有认知下，有害物质不会对评价受体产生不利效应的最大暴露剂量或浓度。

[来源：化学物质环境与健康危害评估技术导则（试行），3.8，有修改]

### 3.10

#### **预测环境浓度 predicted environmental concentration (PEC)**

根据已有关于某有害物质特性、功能、使用量及排放方式的信息而预测出的该有害物质的环境浓度。

### 3.11

#### **毒性评价 toxicity assessment**

在危害识别的工作基础上，分析有害物质对人体健康的危害效应，包括致癌效应和非致癌效应，确定与有害物质相关的毒性参数。

[来源：HJ 682—2014，2.4.19，有修改]

### 3.12

#### **风险表征 risk characterization**

在毒性评价（生态效应表征）及暴露评价基础上，定性或定量分析判别有害物质对评价受体造成风险的程度。

[来源：化学物质环境与健康风险表征技术导则（试行），3.1，3.2，有修改]

### 3.13

#### **致癌风险 carcinogenic risk**

人群暴露于具有致癌效应的有害物质中，诱发致癌性疾病或损伤的概率。

[来源：HJ 25.3—2019，3.5，有修改]

### 3.14

#### **危害商 hazard quotient**



有害物质每日摄入量与参考剂量的比值,用于表征人体经单一途径暴露于非致癌有害物质而受到危害的水平。

[来源: HJ 25.3—2019, 3.6, 有修改]

### 3.15

#### 危害指数 hazard index

人群经多种途径暴露于单一有害物质的危害商之和,用于表征人体暴露于非致癌有害物质受到危害的水平。

[来源: HJ 25.3—2019, 3.7, 有修改]

### 3.16

#### 生态效应表征 characterization of ecological effects

定量评估固体废物资源化产品中有毒有害物质生态效应大小的过程。

[来源: SL/Z467—2009, 3.8, 有修改]

### 3.17

#### 不确定性 uncertainty

由于科学认识不足、评估方法局限和基础数据欠缺等因素,导致生态与健康风险评价结果与实际情况的偏离程度。

[来源: 化学物质环境与健康风险表征技术导则(试行), 3.5, 有修改]

## 4 总体要求

### 4.1 一般性要求

4.1.1 风险评价数据和信息应根据评价目的和评价类型,采用文献资料、模型预测、实验研究或现场调查等方法获取。

4.1.2 风险评价方法的选取应全面考虑固体废物资源化产品中有害物质的来源、特征、可能的迁移转化途径和暴露途径等。若资源化产品存在多种使用方式,应选择风险防控要求最严的用途建立暴露场景。

4.1.3 风险评价范围应根据评价受体的分布情况、有害物质可能对环境产生危害的范围等综合确定。评价范围外存在需要特别关注的评价受体,评价范围需延伸至所关注的受体。

### 4.2 评价工作程序

4.2.1 固体废物资源化产品环境风险评价包括健康风险评价和生态风险评价,其中评价受体包括人群的应开展健康风险评价,评价受体为生态系统实体及其相关属性的应开展生态风险评价。

4.2.2 固体废物资源化产品环境风险评价工作的等级划分为一级、二级、三级。一级、二级评价需选取适用的数值方法定量评价固体废物资源化产品的生态和健康风险；三级评价可定性分析说明固体废物资源化产品的环境风险。

4.2.3 健康风险评价主要包括危害识别、暴露评价、毒性评价、风险表征四个步骤，每个步骤的主要内容包括：

a) 危害识别主要是依据固体废物资源化产品所具有的能够对人体健康及其相关属性产生不良影响的类型、性质和浓度，确定有害物质；

b) 暴露评价是在危害识别的基础上，确定有害物质暴露场景、暴露途径和暴露评估模型，并估算和测定人体的暴露程度（浓度或剂量）；

c) 毒性评价是在危害识别的基础上，分析有害物质对人体健康的危害效应，如包括致癌效应和非致癌效应，确定与有害物质相关的毒理学参数或剂量-效应关系，包括参考剂量、参考浓度、致癌斜率因子和呼吸吸入单位致癌因子等；

d) 风险表征是在暴露评价和毒性评价的基础上，将所获得的资料进行总结，估算各种暴露途径下有害物质对人群产生不利健康影响的程度，对风险进行综合的定量表达，并分析相关的不确定性。

4.2.4 生态风险评价主要包括危害识别、暴露表征、生态效应表征、风险表征四个阶段。各阶段主要内容包括：

a) 危害识别主要包括查明固体废物资源化产品中有害物质的来源、发生转移的途径及目标生态受体，选取不同暴露场景下被保护目标生态系统中的元素确定评价范围；

b) 暴露表征包括分析有害物质的暴露途径和暴露强度；

c) 生态效应表征是在危害识别和暴露表征的基础上，对暴露状况进行分析后，估计预测可能产生的生态效应；

d) 风险表征是通过对暴露表征和生态效应表征结果的综合分析进行风险估计，描述风险大小。

## 5 危害识别技术要求

### 5.1 资料收集

危害识别阶段需收集的信息包括但不限于以下内容：

a) 固体废物来源、产生工艺、组分和含量信息和数据；

b) 固体废物资源化工序分析，包括工艺过程、原辅料、工艺产物及副产物等信息；

c) 资源化产品用途或工艺过程分析，包括工业原料、农业原料、建筑材料、生活用品等信息；

d) 资源化产品作为替代原料或产品的产品质量标准。

## 5.2 有害物质确定

根据固体废物在产生工艺所使用原辅材料中包含的有害物质、固体废物资源化过程中产生的有害物质，依据以下内容识别固体废物资源化产品中可能存在的有害物质：

- a) 《危险化学品目录》《国家危险废物名录》中包含的有害物质；
- b) 《有毒有害大气污染物名录》《有毒有害水名录》《优先控制化学品名录》中包含的有害物质；
- c) 中国优先关注的 68 种污染物、22 种 POPs 物质清单中的有害物质；
- d) HJ1229 标准中规定的筛选对象。
- e) 对新发现的化学物质应收集毒理学数据后进行判定。

## 5.3 有害物质浓度确定

5.3.1 参考已有研究成果，通过文献调研，选取最高浓度作为筛选依据，针对 5.2 中的有害物质剂量-反应关系和危害程度，通过计算有害物质毒性得分，选择构成毒性总得分 99% 的有害物质开展采样检测。

有阈值的有害物质的毒性得分按公式（1）计算。

$$TS = \frac{C_{\max}}{RfD} \dots\dots\dots (1)$$

无阈值的有害物质的毒性得分按公式（2）计算。

$$TS = SF \times C_{\max} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

TS ——毒性得分；

$C_{\max}$  ——最大浓度， $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ；

$RfD$  ——参考剂量， $\text{mg}$  有害物质  $\text{kg}^{-1}$  体重  $\text{d}^{-1}$ ；

SF ——致癌斜率因子， $(\text{mg}$  有害物质  $\text{kg}^{-1}$  体重  $\text{d}^{-1})^{-1}$ 。

其中， $RfD$  和 SF 参数取值可参考 HJ 25.3 标准或国外相关数据库；若没有相关数据，则依据 7.3.2 进行估算。

5.3.2 根据固体废物资源化产品在环境中的使用途径，参考已有研究成果，通过文献调研选择最不利暴露场景，确定需要开展采样检测的有害物质。主要资源化利用途径有害物质确定应符合以下规定：

- a) 建材利用（如砖、路基材料等），按照 GB/T 30810 方法制备浸出液，判断浸出液中有害物质浓度是否满足 GB3838 或 GB/T14848 或 GB5749 标准限值，若满足，则认为该有害物质风险可接受，

若否，则列入需要开展采样检测的有害物质清单；

b) 土地利用（如农业肥料等），按照 HJ/T 299 或 HJ/T300 标准方法制备浸出液，依据 a) 进行判定；

c) 生活日用品（如塑料包装等），依据 GB/T5009.156 选择相应的模拟物及方法，测定模拟物中有害物质溶出量，判断是否满足相关标准限值要求，若满足，则认为该有害物质风险可接受，若否，则列入需要开展采样检测的有害物质清单；

d) 工业替代原料，分别通过水、气、固体废物三个途径进行分析。若在最不利条件下，假设有害物质全部通过烟气或水体排放，且排放浓度满足相应的排放标准，或全部进入固体废物，且满足 GB 5085.7 等标准要求，则认为该有害物质风险可接受，若否，则列入需要开展采样检测的有害物质清单；

e) 其他途径，可通过两个以上行业专家咨询打分或调研问卷形式进行需要开展采样检测的有害物质筛选。

5.3.3 固体废物资源化产品的采样宜优先选用所替代原料或产品相应标准规定的采样方法；若无，可选择参照 GB/T2828.1 规定的采样方法。

5.3.4 固体废物资源化产品中有害物质浓度的检测宜优先采用所替代原料或产品相应的产品质量标准规定的检测方法；若无，可选择参照 GB5085.3、GB5085.6 或 HJ/T299 中规定的检测方法；若有害物质无相关标准依据，则参考国内外权威实验室机构提供的检测方法。

5.4 危害性分级

针对 5.3 确定的有害物质浓度，根据有害物质对人体健康的危害性进行定性分级，见表 1。

表 1 人体健康危害性定性分级

| 有害物质危害性级别（H <sub>r</sub> ）  | 急性毒性（经口、经皮、吸入） | 皮肤刺激性     | 眼刺激性  | 呼吸和皮肤致敏急性毒性 | 致突变性 | 生殖发育毒性 | 慢性毒性 | 致癌性 |
|---|----------------|-----------|-------|-------------|------|--------|------|-----|
| 高危害   | LD50 类别 1、2    | 腐蚀性 1A-1C | 类别 1  | 呼吸致敏类别 1    | 1 类  | 1 类    | 1 类  | 1 类 |
| 中危害   | LD50 类别 3      | 刺激性类别 2   | 类别 2A | 皮肤致敏类别 1    | 2 类  | 2 类    | 2 类  | 2 类 |
| 低危害   | LD50 类别 4、5    | 刺激性类别 3   | 类别 2B | 不在上述类别内的    |      |        |      |     |
| 注：人体健康危害性定性分级主要参考《职业性接触毒物危害程度分级》（GBZ 230—2010），即工人在生产中接触以原料、成品、半成品、中间体、反应副产物和杂质等形式存在，并在操作时可经呼吸道、皮肤或经口进入人体而对健康产生危害的物质。 |                |           |       |             |      |        |      |     |

## 6 暴露评价技术要求

### 6.1 一般规定

6.1.1 风险评价等级根据 5.4 危害性分级及固体废物资源化产品在环境介质中的释放过程、传输路径、评价受体确定，见表 2。

6.1.2 原则上对于一级和二级风险评价均需开展定量风险评价，对于三级风险评价可采用定性分析。定性或定量估计特定情景下评价受体不同路径和途径暴露于目标环境因素外的暴露量进行健康暴露评价或者生态暴露评价。

表 2 固体废物资源化产品环境风险评价等级判定

| 有害物质危害等级   | 评价受体                           | 风险评价类型 | 风险评价等级 |
|--|--------------------------------|--------|--------|
| 高危害  | 直接、间接暴露人群                      | 健康风险评价 | 一级     |
|  | 生态受保护体                         | 生态风险评价 | 一级     |
| 中危害  | 直接、间接暴露儿童、孕妇、老人或患有慢性病等敏感性受保护人群 | 健康风险评价 | 一级     |
|  | 直接暴露人群                         | 健康风险评价 | 一级     |
|  | 间接暴露人群                         | 健康风险评价 | 二级     |
|  | 敏感性生态受保护体*                     | 生态风险评价 | 一级     |
|  | 一般生态受保护体                       | 生态风险评价 | 二级     |
| 低危害  | 直接、间接暴露儿童、孕妇、老人或患有慢性病等敏感性受保护人群 | 健康风险评价 | 二级     |
|  | 直接暴露人群                         | 健康风险评价 | 二级     |
|  | 间接暴露人群                         | 健康风险评价 | 三级     |
|  | 敏感性生态受保护体                      | 生态风险评价 | 二级     |
|  | 一般生态受保护体                       | 生态风险评价 | 三级     |
| 注：敏感性生态受保护体依据《中华人民共和国环境保护法》主要包括：珍稀、濒危的野生动植物自然分布区域，重要的水源涵养区域，具有重大科学文化价值的地质构造、著名溶洞和化石分布区、冰川、火山、温泉等自然遗迹，以及人文遗迹、古树名木等。 |                                |        |        |

### 6.2 健康暴露评价

#### 6.2.1 暴露场景分析

暴露场景分析是固体废物资源化产品开展风险评价的基础，本标准参照 GB/T 4754 中行业分类，根据固体废物资源化产品的用途识别资源化产品的主要暴露场景为农林牧业、矿业、制造业、建筑业、生态保护和环境治理业以及生活领域（见附录 A）。主要包括建材利用、土地利用、工业替代原料、生活日用品以及其他途径。

### 6.2.2 暴露途径分析

对于存在多种途径的暴露场景，除非证明某暴露途径不存在外，应全面考虑经口摄入、经呼吸吸入、皮肤接触三种暴露途径直接暴露和通过环境介质（大气、土壤、地表水、地下水、沉积物）和食物链间接暴露。

若暴露途径存在多种受保护体，应选择最敏感的受保护体开展暴露评价；对每一种暴露途径，暴露情景应涵盖所有种类的有害物质。

### 6.2.3 暴露浓度确定

基于固体废物资源化产品中有害物质的来源、使用、释放、转化和归趋等信息，可选择合适的环境归趋模型，模拟预测获得不同环境介质中的有害物质浓度。

环境归趋模型的选取宜依照以下顺序进行：

- a) 国内外权威教材列出的模型；
- b) 发达国家发布的标准或开发的模型工具包；
- c) 其他国家发布的标准或开发的模型工具包；
- d) 学术文献资料开发的模型。

### 6.2.4 暴露参数选取

暴露参数的选取宜按照以下先后顺序进行：

- a) 《中国人群暴露参数手册》中的暴露参数；
- b) 国内发布的相关标准、科技文献等推荐的暴露参数；
- c) 国外权威机构或科技文献发布的暴露参数推荐值；
- d) 依据 HJ875、HJ876、HJ877 等标准通过现场调查获取的暴露参数。

### 6.2.5 暴露量计算

各种途径的暴露量的计算如下：

- a) 经口摄入途径的暴露量按公式（3）计算。

$$ADD = \frac{C \times CF \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

ADD——日均暴露量，单位为毫克每千克天，mg/(kg•d)；

C ——介质中有害物质浓度，单位为毫克每千克，mg/kg；

CF ——转换因子，单位为千克每毫克，kg/mg；

IR ——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 ——暴露周期，单位为年，a；

BW ——体重，单位为千克，kg；

AT ——平均时间，单位为天，d。

b) 吸入途径的暴露量按公式（4）计算。

$$ADD = \frac{C \times EF \times ED \times ET}{AT} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

ADD——日均暴露量，单位为毫克每立方米（mg/m<sup>3</sup>）；

C ——空气中有毒物质浓度，单位为毫克每立方米（mg/m<sup>3</sup>）；

ET ——暴露时间，单位为小时每天（h/d）

AT ——平均时间，单位为小时（h）

ED、EF 见公式（3）

c) 皮肤接触途径的暴露量，按公式（5）计算。

$$ADD = \frac{C \times CF \times AF \times SA \times ABS \times EF \times ED}{BW \times AT} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

AF ——皮肤粘附因子，单位为毫克每平方厘米（mg/cm<sup>2</sup>）；

SA ——皮肤接触面积，单位为平方厘米每次（cm<sup>2</sup>/event）；

ABS ——皮肤吸收系数；

EF ——暴露频率，单位为次每年（event/a）；

ADD、C、CF、ED、BW、AT 见公式（3）。

### 6.3 生态暴露评价

6.3.1 基于环境中有害物质的时空分布特征，描述有害物质的环境存在形式、分布状况、次生有害物质的产生情况。主要包括：有害物质迁移途径，次生有害物质产生方式和产生机理，有害物质分布状况研究。

6.3.2 暴露评价应按以下规定进行：

- a) 应描述评价受体对有害物质的暴露途径、暴露强度；
- b) 应采用暴露强度、暴露时间向量、暴露空间向量表征暴露状况；
- c) 依据 6.2.3 方法开展生态环境暴露浓度估算，若针对该暴露途径有相应的环境质量标准，则判

定是否满足标准要求，若满足则风险可接受，若不满足则开展生态效应表征。

## 7 危害表征技术要求

### 7.1 数据类型及分类

根据风险评价类型选择需要收集的数据类型，主要包括但不限于以下内容：

#### a) 健康毒理学数据

- 1) 健康毒理学数据包括急性毒性、皮肤腐蚀性、刺激性（皮肤、眼睛）、致敏性（皮肤、呼吸道）、（亚）慢性毒性、特异性靶器官毒性、生殖细胞致突变性、生殖发育毒性、致癌性等，以及流行病学数据、毒代动力学、毒效动力学等相关数据；
- 2) 对于不同健康毒理学终点选择最为敏感的毒理学数据作为关键效应数据，并依据 GB 30000.18~GB 30000.26 对有害物质危害进行分类。

#### b) 生态毒理学数据

- 1) 生态毒理学数据包括不同评价对象中生物的急性毒性数据、慢性毒性数据以及其他非生物危害效应数据等；
- 2) 针对每个评价对象，选择最敏感物种的数据作为关键效应数据，如水环境选择藻类、溞类和鱼类等水生生物的毒性数据，并依据 GB 30000.28 对有害物质危害进行分类。

#### c) 其他数据

- 1) 生物降解和累积性数据：生物降解数据、非生物降解数据、生物富集系数、生物累积系数、生物放大系数、生物-沉积物累积系数等；
- 2) 暴露数据：有害物质在环境或生物体的检出数据、排放数据等；
- 3) 理化属性数据：水溶解度、沸点、蒸汽压、亨利常数、分配系数、pH 值、密度、粒径等。

### 7.2 数据来源

数据来源主要包括测试试验、国内外相关数据库、公开发表的文献/报告、计算毒理学数据等。

### 7.3 健康毒性评价

#### 7.3.1 参数确定

对于有相关参数来源的毒性数据，直接依据 7.1 确定相关参数。

表征非致癌效应的剂量-反应关系参数采用参考剂量（ $RfD$ ）或参考浓度（ $RfC$ ）。根据暴露途径，分为经口摄入途径的  $RfD$ （ $RfC$ ）、吸入途径的  $RfC$ （ $RfD$ ）和皮肤接触途径的  $RfD$ ；根据健康效应，分为慢性效应的  $RfD$  或  $RfC$ 、亚慢性效应的  $RfD$  或  $RfC$ 、急性效应的  $RfD$  或  $RfC$ 。



表征致癌效应的剂量-反应关系参数采用斜率因子 ( $SF$ ) 或吸入单位风险 ( $IUR$ )。根据暴露途径分为经口摄入途径的  $SF$ 、吸入途径的  $IUR$ 、皮肤接触途径的  $SF$ 。

### 7.3.2 参数估算

对于没有相关参数来源的毒性数据,可根据 WS/T 777 标准估算相关剂量-反应关系参数,具体包括:

a) 有阈值效应(慢性毒性、亚慢性毒性、生殖发育毒性等)的参考剂量或浓度,可根据未观察到有害作用的剂量水平( $NOAEL$ )或观察到有害作用的最低剂量水平( $LOAEL$ )与不确定系数( $UF$ )的商值估算。

其中  $UF$  的取值包括:由动物外推到人的种属间差异、个体敏感性差异造成的种属内差异和由亚慢性研究外推到慢性研究之间出现的差异( $UF=10$ );用  $LOAEL$  代替  $NOAEL$  推导  $RfD$  造成的差异( $UF=10$ );由于数据库不完整等带来的其他不确定性( $UF$  为  $1\sim10$ )。种属间差异和种属内差异的不确定性系数均可采用 10。

b) 无阈值效应(致突变性、遗传毒性、致癌性)的毒性参数估算,首先通过查阅文献或开展研究得到实验动物给药剂量和癌症发生比例,进而基于使用基准剂量模型推导的基准剂量下限,计算实验动物的  $SF$ ,最后结合人与动物的跨物种剂量调整因子,使用实验动物的  $SF$  推导人的  $SF$ 。

## 7.4 生态效应表征

7.4.1 生态效应表征中,应重点开展有害物质对水环境、沉积物、土壤环境、捕食动物等预测无效应浓度( $PNEC$ )的推导;对于大气环境,宜通过定性分析有害物质是否具有全球气候变暖、消耗臭氧层、酸雨效应等非生物效应进行表征。

7.4.2 根据评价终点的生态毒理学数据充分程度,依据《化学物质环境与健康危害评估技术导则(试行)》选择合适的  $PNEC$  推导方法:

- a) 当无法获得有效生态毒性数据时,可采用相平衡分配法进行估算;
- b) 获得有限的生态毒理学数据时,可采用评估系数法进行估算,即生态毒理学关键效应值(最敏感物种的半数致死浓度、效应浓度或无观察效应浓度等)与评估系数的商值;
- c) 若生态毒理学数据充分且满足统计外推法对数据的基本要求时,可采用统计外推法估算  $PNEC$ 。

## 8 风险表征技术要求

### 8.1 健康风险表征

8.1.1 根据毒理学终点不同,健康风险可分为致癌风险、致突变风险、生殖毒性风险、靶器官毒性风

险等。

8.1.2 依据 5.4 依次开展健康风险表征，若针对高危害有害物质，经表征存在风险，则判定资源化产品在该暴露途径存在风险；若针对高危害有害物质不存在风险，则依次对中危害有害物质和低危害有害物质开展表征。

8.1.3 健康风险表征应结合相关健康危害效应的可能作用模式或机制（有阈值或无阈值），根据优先评价有害物质对人体无有害效应的安全阈值或者虚拟安全剂量以及暴露剂量，采用商值法。表征方法为：

a) 有阈值效应的健康风险表征

$$RCR = \frac{ADD}{RfD} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$RCR$ ——有阈值效应的健康风险表征值，无量纲；

$ADD$ ——有害物质日均暴露量， $[\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]$ ；

$RfD$ ——有害物质参考剂量， $[\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]$ 。

b) 无阈值效应的健康风险表征

$$RCR = \frac{ADD}{VSD} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$RCR$ ——有阈值效应的健康风险表征值，无量纲；

$ADD$ ——有害物质日均暴露量， $[\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]$ ；

$VSD$ ——虚拟安全剂量， $[\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})]$ （参照《化学物质环境与健康危害评估技术导则（试行）》推导）。

c) 风险判别

若  $RCR$  小于 1，则判定不存健康风险；若  $RCR$  为 1~10，则判定可以通过改善相关工艺、暴露条件等达到风险可接受；若  $RCR$  大于 10，则判定存在健康风险。

d) 总体健康风险表征

$$RCR_1 = \sum RCR_{L1} + \sum RCR_{L2} + \sum RCR_{L3} + \sum RCR_{N-L1} + \sum RCR_{N-L2} + \sum RCR_{N-L3} \dots (8)$$

$$RCR_t = \sum RCR_1 \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$RCR_I$  ——全部有害物质经某一种暴露途径导致不同毒理学终点的健康风险表征值；

$RCR_{LI}$  ——单一有害物质经某一种暴露途径导致慢性毒性的健康风险表征值；

$RCR_{L2}$  ——单一有害物质经某一种暴露途径导致亚慢性毒性的健康风险表征值；

$RCR_{L3}$  ——单一有害物质经某一种暴露途径导致生殖发育毒性的健康风险表征值；

$RCR_{N-L1}$  ——单一有害物质经某一种暴露途径导致致突变性的健康风险表征值；

$RCR_{N-L2}$  ——单一有害物质经某一种暴露途径导致遗传毒性的健康风险表征值；

$RCR_{N-L3}$  ——单一有害物质经某一种暴露途径导致致癌性的健康风险表征值；

$RCR_t$  ——全部有害物质经全部暴露途径导致的不同毒理学终点的健康风险表征值。

## 8.2 生态风险表征

8.2.1 生态风险表征是通过对暴露表征和生态效应表征结果综合分析进行风险估计，描述风险大小。

8.2.2 开展生态风险表征，应根据预测环境浓度（PEC）和相应的预测无效应浓度（PNEC），采用商值法进行表征，见公式（10）。

$$RCRe = \frac{PEC}{PNEC} \dots\dots\dots (10)$$

若  $RCRe \leq 1$ ，则表明无生态风险；若  $RCRe$  为 1~10，则判定可以通过改善相关工艺、暴露条件等达到风险可接受；若  $RCRe$  大于 10，则判定存在生态风险。

### 8.2.3 总体生态风险表征

$$RCR_{te} = \sum RCR_{e1} + \sum RCR_{e2} + \sum RCR_{e3} + \sum RCR_{e4} + \sum RCR_{e5} + \sum RCR_{e6} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$RCR_{te}$  ——全部有害物质暴露于不同环境介质中导致的生态风险表征值；

$RCR_{e1}$  ——单一有害物质暴露于水环境介质导致的生态风险表征值；

$RCR_{e2}$  ——单一有害物质暴露于大气环境介质导致的生态风险表征值；

$RCR_{e3}$  ——单一有害物质暴露于土壤环境介质导致的生态风险表征值；

$RCR_{e4}$  ——单一有害物质暴露于沉积物环境介质导致的生态风险表征值；

$RCR_{e5}$  ——单一有害物质暴露于单一物种导致的生态风险表征值；

$RCR_{e6}$  ——单一有害物质暴露于群落结构导致的生态风险表征值。

8.2.4 对于固体废物资源化产品经表征有一个暴露场景或一种环境评估对象存在生态风险，则生态风险

表征结果即为风险不可接受。

### 8.3 固体废物资源化产品环境风险表征

8.3.1 对于固体废物资源化产品环境风险表征应基于健康风险表征和生态风险表征的整合，见公式（12）。

$$RCR_{tp} = RCR_t + RCR_{te} \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$RCR_{tp}$ ——固体废物资源化产品风险表征值；

$RCR_t$ ——全部有害物质经全部暴露途径导致的不同毒理学终点的健康风险表征值；

$RCR_{te}$ ——全部有害物质暴露于不同环境介质中导致的生态风险表征值。

8.3.2 若  $RCR_p \leq 1$ ，则表明资源化产品在该暴露场景下无风险或风险低，可以使用；若  $RCR_p$  为 1~10，则表明资源化产品在该暴露场景下有一定的风险，需改善工艺等条件后使用，或对使用场景进行限定；若  $RCR_p$  大于 10，则表明资源化产品在该暴露场景下风险高，不能使用。

### 8.4 不确定性分析

8.4.1 固体废物资源化产品风险评价过程在不同阶段均可能存在一定的不确定性，因此应识别风险评价全过程不确定性的来源，定性描述或定量分析危害识别、毒性评价、暴露评价和风险表征过程中的不确定性。

8.4.2 风险评价全过程不确定性的来源主要包括：

- a) 风险识别过程数据来源及检测机构的权威性等；
- b) 毒性评价过程数据外推模型及系数是否合理等；
- c) 暴露评价过程暴露场景及暴露途径是否考虑全面、是否充分考虑特殊暴露人群、是否充分考虑暴露时间以及暴露参数、模型的选取是否合理；
- d) 风险表征过程表征方法的不确定性。

8.4.3 定量不确定性分析参照 GB/T 27921 中规定的蒙特卡洛模拟方法，模型参数敏感性分析参照 HJ 875 中规定的方法。

附录 A

(资料性)

固体废物资源化产品暴露场景分析

表 A 固体废物资源化产品暴露场景分析

| 应用行业       | 用途  | 暴露场景描述  |                 |                   |
|------------|---|---|-----------------|-------------------|
| 农林牧业       | 肥料  | 农业、林业用肥料  |                 |                   |
|            | 土壤改良剂   | 农业、林业土壤改良剂  |                 |                   |
|            | 饲料及饲料添加剂  | 畜牧业用饲料及饲料添加剂  |                 |                   |
| 矿业         | 充填材料  | 矿区/井充填  |                 |                   |
|            | 浮选剂   | 矿物选别中的添加剂   |                 |                   |
| 制造业        | 工业替代原料  | 再生有机溶剂、再生原油、再生酸/碱、再生有价金属                                |                 |                   |
| 建筑业        | 建筑材料（水泥、混凝土、墙体材料、路基材料、墙砖、地砖、饰面砖、微孔吸音砖、塑料砖、陶粒、微晶玻璃、铸石、玻璃、煤矸石岩棉、石膏、涂料等）；<br>建筑材料添加剂（粘结剂、成膜剂、水泥减水剂、水玻璃、水泥矿化剂、玻璃着色剂、胶黏剂等） | 房屋建筑业   | 住宅房屋建筑、体育场馆建筑   |                   |
|            |   |   | 其他房屋建筑业         |                   |
|            |   | 土木工程建筑业   | 铁路、道路、隧道和桥梁工程建筑 | 铁路工程建筑            |
|            |   |   |                 | 公路工程建筑            |
|            |   |   |                 | 市政道路、城市轨道交通工程建筑   |
|            |   |   |                 | 其他道路、隧道和桥梁工程建筑    |
|            |   |   | 水利和水运工程建筑       | 水源及供水设施工程建筑       |
|            |   |   |                 | 河湖治理及防洪设施工程建筑     |
|            |   |   |                 | 港口及航运设施工程建筑       |
|            |   |   | 海洋工程建筑          |                   |
|            |   |   | 工矿工程建筑          |                   |
|            |   |   | 架线和管道工程建筑       | 供水管道工程建筑          |
|            |   |   |                 | 排水、燃气、集中供热管道工程建筑  |
|            |   |   |                 | 线缆排管、工业和长输等管道工程建筑 |
|            |   |   | 其他土木工程建筑        | 园林绿化              |
|            |   |   |                 | 体育场地设施            |
|            |   |   |                 | 游乐设施              |
|            |   |   |                 | 其他土木工程建筑          |
|            |   | 建筑装饰和装修业  | 公共建筑装饰和装修       |                   |
|            |   |   | 住宅装饰和装修         |                   |
|            |   |   | 建筑幕墙装饰和装修       |                   |
| 生态保护和环境治理业 | 水处理用填料、吸附剂、絮凝剂等   | 再生污水处理用品  |                 |                   |
| 生活领域       | 民用消费品或添加剂   | 化妆品、医用石膏、电器、汽车、食品包装、工艺品、塑料制品、纸质材料、陶瓷制品、电线、印刷版、机械制造及民用器具 |                 |                   |