

团 体 标 准

T/CSES XXXX—2021
代替 T/CSES XXXX—201X

重金属污染健康风险评估技术规范

Technical specification for health risk assessment of heavy
metals contamination

(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 适用范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 评估关键原则及评估程序..... 2

5 评估计划制定..... 3

6 暴露评估..... 4

7 危害识别..... 5

8 危害表征..... 5

9 风险表征..... 5

10 报告编制要求..... 8

附 录 A （资料性附录） 重金属的毒性参数..... 9

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。

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》，推动保障公众健康，指导和规范环境介质中金属类污染物人群健康风险评估，制订本标准。

本标准规定了环境中重金属类污染物环境健康风险评估的原则、程序、内容、技术要求、质量控制和质量保证措施及评估报告的编制要求。

本标准首次发布。

本标准由中国环境科学学会归口。

本标准起草单位：生态环境部华南环境科学研究所、中科鼎实环境工程有限公司、湖北省生态环境科学研究院、广州珠江实业环境保护有限公司。

本标准主要起草人：于云江、向明灯、郑彤、刘爽、杨勇、凌海波、李苇苇、张文、郑盛之、易川、胡睿、王善仙、汪正东、罗伟铿、朱晓辉、刘振升、冯宇轩。

本标准中国环境科学学会 年 月 日批准。

本标准自 年 月 日起实施。

本标准由起草单位负责解释。

重金属污染健康风险评估技术规范

1 适用范围

本标准规定了重金属污染健康风险评估的一般性原则、内容、程序、方法和技术要求。

本标准重点关注的金属元素及化合物共 25 种，分别为铝、镉、砷、钡、铍、硼、镉、铬、钴、铜、铁、铅、锰、汞、钼、镍、硒、银、锌、钠、钛、钒、铈、锡及甲基汞。

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。凡是未注明日期的引用文件，其最新版本（包括修改单）适用于本标准。

GB 2762 食品安全国家标准 食品中污染物限量

GB 3095 环境空气质量标准

GB 3838 地表水环境质量标准

GB 5749 生活饮用水卫生标准

GB 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 36600 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）

HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则

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 1111 生态环境健康风险评估技术指南 总纲

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

暴露介质 exposure media

指人体接触或摄入环境污染物的介质，包括环境空气、环境水体、土壤、室内空气、室内积尘、饮用水及农畜水产品。

3.2

生物可给性 bioaccessibility

亦称生物可利用性，指物质进入生物体并被利用的难易程度。对于重金属而言，生物可给性是

指暴露介质中重金属与人体暴露界面（如口、鼻、皮肤等）相互作用并可能被吸收的量。生物可给性是最大生物有效性的指示。

3.3

生物有效性 bioavailability

是指人体接触和摄入重金属后，暴露介质中的重金属能被机体吸收并最终进入体内循环的比例。

4 评估关键原则及评估程序

4.1 重金属环境健康风险评估应考虑的关键原则

4.1.1 重金属种类繁多，评估时应明确环境管理中应重点关注的重金属污染物

重金属及其化合物种类繁多，在进行重金属环境健康风险评估时，首先应明确现阶段我国环境管理中应重点关注的重金属污染物，再根据区域环境污染特征以及特定评估目的，选择相应重金属进行评估。本标准重点关注的重金属为 GB 3838-2002、GB 14848-2017、GB 3095-2012、GB 36600-2018、GB 15618-2018、GB5749-2006 以及 GB 2762-2017 等水环境、大气环境、土壤、饮用水及食品标准中纳入的金属元素及化合物，共 25 种，分别为：铝、镉、砷、钡、铍、硼、镉、铬、钴、铜、铁、铅、锰、汞、钼、镍、硒、银、锌、钠、钛、钒、铊、锡及甲基汞。

4.1.2 重金属是环境中自然存在的成分，评估时应区分背景水平和特定人类活动的贡献

重金属污染指由人类活动所排放的重金属或其化合物，导致环境中重金属的含量高于自然水平的现象。但重金属也是环境中自然存在的成分，人类、动植物等生物体已经在金属元素存在的自然环境中进化并适应了各种金属水平。在开展重金属环境健康风险评估时，应根据不同评估目的，注意区分重金属背景水平以及特定人类活动贡献。

4.1.3 重金属的形态、价态等对其生物有效性和毒性影响大，评估时应区分形态、价态差异

重金属在环境中存在不同形态（元素态、无机态、有机态）和价态，并可通过物理化学或生物过程在不同形态间转化。重金属的形态和价态会严重影响其生物可给性、生物有效性和毒性效应，因此在开展重金属环境健康风险评估时，应识别不同暴露介质中重金属的形态和价态差异，考虑其对重金属生物有效性和毒性效应的影响。

4.2 评估程序

重金属环境健康风险评估程序包括评估方案制定、暴露评估、危害识别、危害表征和风险表征，评估程序见图 1。其中，危害识别和危害表征共同构成危害评估。

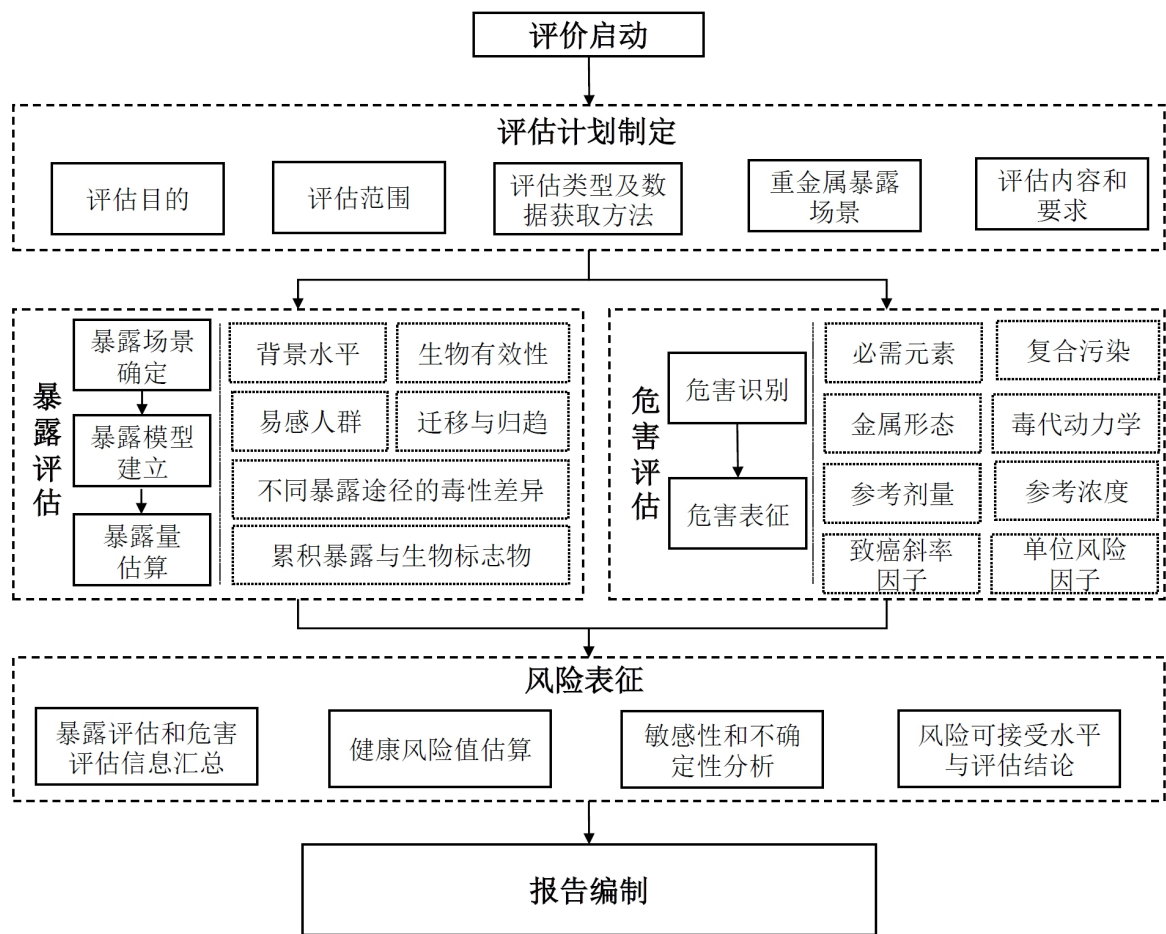


图 1 重金属环境健康风险评估程序

5 评估计划制定

5.1 明确评估目的

开展风险评估前，风险评估者应与风险管理者和利益相关方充分沟通，明确评估目的。基于不同评估目的可将重金属环境健康风险评估分为两大类：

- （1）国家/区域/流域评估：如基于健康风险的国家/区域/流域优先污染物筛选与排序、保护人体健康的环境基准/标准制定、化学品审查优先级确定等；
- （2）特定地点评估：如重点地区/企业重金属污染环境健康风险评估、场地土壤重金属污染健康风险评估及安全阈值制定等。

5.2 明确评估范围

基于不同评估目的，确定重金属污染健康风险评估的评估范围，包括目标因素（重点关注的重金属污染物），空间范围（特定地点、地区或国家等），时间范围（长期、短期等），目标人群（一般人群、敏感人群、高暴露人群等），具体要求参考 HJ 1111 执行。

5.3 确定评估类型及数据获取方法

基于不同的评估目的和范围，确定重金属污染环境健康风险评估的评估类型（定性评估、定量评估）；并明确评估数据的获取方法（应充分利用现有数据资料，必要时开展实验研究和现场调查）。如对于特定地点的评估，由于仅涉及单个地理区域，可以纳入本土化的重金属背景浓度、形态/价态以及人群暴露参数等方面数据；对于国家/地区级评估，可采用一般的保守性假设数据。

5.4 确定重金属暴露情景

识别重点关注重金属污染物的来源，识别暴露路径和暴露途径，以及最终暴露介质（环境空气、环境水体、土壤、室内空气、室内积尘、饮用水及农畜水产品）。

5.5 明确评估内容和要求

明确重金属污染环境健康风险评估中危害识别、危害表征、暴露评估和风险表征各过程的评估内容、方法、技术路线、质量控制和质量保证措施，并充分考虑重金属环境健康风险评估的关键原则，制定重金属环境健康风险评估方案。

5.6 确定最终评估方案

在此基础上，经充分征求风险管理者和利益相关方的意见，必要时可组织专家咨询论证，确定最终评估方案。

6 暴露评估

6.1 重金属暴露评估的一般步骤

重金属的暴露评估的一般步骤包括确定暴露情景、建立暴露模型和暴露量估算，具体技术要求可参照 HJ 875、HJ 1111 执行。

6.2 重金属暴露评估应重点考虑的问题

除 HJ 875、HJ 1111 一般要求外，重金属暴露评估还应重点考虑以下几个方面问题，并进行定性描述或分析。

背景水平：风险评估人员应区分重点关注重金属在不同尺度的自然发生水平、现有背景水平及特点人类活动贡献水平，并对人类活动贡献新增的重金属污染水平进行健康风险评估。

生物有效性：暴露评估时应充分考虑重金属的生物有效性，收集重点关注重金属的生物可给性或生物有效性信息及数据，确定不同途径重金属暴露的生物有效性系数；如生物有效性数据缺乏，可用生物可给性系数代替。

易感人群：风险评估人员应识别重金属暴露易感人群，并在暴露评估不确定性分析时对生命成长阶段、生活方式、怀孕及哺乳期、并发损害或疾病以及营养状况等不同因素对暴露评估影响进行定性描述。

不同暴露途径的差异性：重金属经不同暴露途径进入人体，其生物可给性、生物有效性及靶器官效应存在较大差异，风险评估者应对此方面因素进行识别和分析。如呼吸暴露途径应考虑颗粒物粒径对暴露的影响，膳食暴露应考虑食物消费习惯带来的不确定性，手-口接触暴露应区分室外土壤和室内积尘的差异性等。

暴露标志物：在可获得情况下，风险评估者可以考虑纳入重金属暴露标志物，并与其参考水平或基准水平（如最大耐受量等）进行比较，以增加暴露评估的全面性。

7 危害识别

7.1 重金属危害识别的一般步骤

危害识别是确定重金属暴露是否会导致人体健康危害，识别其毒性效应及其作用模式或机制的过程。主要通过流行病学调查、体内试验、体外试验以及（定量）构效关系等科学数据和文献信息的收集、分析、整理和综合，对重金属暴露可能对人群健康产生的危害作出科学评估。

重金属危害识别一般步骤包括：数据收集、数据质量评价、证据综合、证据集成，具体技术要求可参照 HJ 1111 执行。

7.2 重金属危害识别应重点考虑的问题

金属形态：不同价态、形态重金属的毒性存在很大差异，风险评估者应识别不同价态、形态重金属的危害特征。

复合污染相互作用：重金属往往以复合污染的形式存在，混合物中重金属的相互作用包括协同、加和、拮抗或独立。在数据资料或证据充分的情况下，风险评估者可以考虑不同重金属之间的相互作用，以增加评估的精确性和科学性。具体方法可参考美国毒物与疾病登记署的“化学混物联合毒性作用评估导则”中靶器官毒性剂量的危害指数法及证据权重分析法。

8 危害表征

8.1 重金属危害表征的一般步骤

重金属危害表征主要是基于危害识别，定性描述目标环境因素引起个体或群体发生有害效应的危害等级；或建立重金属暴露与有害效应之间的剂量-反应（效应）关系，推导毒性参数。

对于致癌效应毒性参数，常用致癌斜率因子(slope factor, SF)或单位风险因子(unite risk factor, URF)表示；对于非致癌毒性参数，常用参考剂量(reference dose, RfD)或参考浓度（reference concentration, RfC）表示。

8.2 重金属毒性参数的确定

对于剂量-反应关系成熟的重金属，其毒性参数可直接查阅国际上已有的相关污染物毒性数据库。其毒性参数来源的优先顺序依次为：美国环保局综合风险信息系统(Integrated Risk Information System, IRIS)、美国毒物与疾病登记署(Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR)、美国环保局土壤筛选导则、美国加州环境健康危害评估办公室(California Office of Environmental Health Hazard Assessment, OEHHA)、美国能源部的风险评估信息系统(the Risk Assessment Information System, RAIS)。

如对于某些重金属，现有毒性数据库中缺乏其毒性参数，可根据文献资料推导其毒性参数，具体技术方法见 HJ 1111 和《区域环境污染健康风险评估技术导则》相关要求。

9 风险表征

风险表征的工作内容包括暴露评估和危害评估信息汇总、健康风险值估算、敏感性和不确定性分析、风险可接受水平与评估结论。

9.1 暴露评估和危害评估信息汇总

对暴露评估和危害评估的信息及数据进行汇总，形成暴露评估和危害评估摘要。

9.2 健康风险估算

9.2.1 非致癌风险估算

9.2.1.1 经呼吸道吸入途径

经呼吸道吸入途径暴露的非致癌风险用风险商进行描述，采用公式(1)计算：

$$HQ_{inh} = \frac{ADD_{inh}}{RfD_{inh}} \times IVBA_{inh} \dots\dots\dots(1)$$

式中：

HQ_{inh} 为污染物经呼吸吸入途径的危害商，无量纲；

ADD_{inh} 为污染物经呼吸吸入途径的日均暴露剂量[$\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$]；

RfD_{inh} 为污染物经呼吸吸入途径的参考剂量[$\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$]；

$IVBA_{inh}$ 为实测的经呼吸途径的重金属生物有效性。

9.2.1.2 经消化道摄入途径

通过经口摄入途径（饮水、膳食或尘土）暴露的非致癌风险用风险商进行描述，采用公式(2)计算：

$$HQ_{oral} = \frac{ADD_{oral}}{RfD_{oral}} \times IVBA_{oral} \dots\dots\dots(2)$$

式中：

HQ_{oral} 为污染物消化道摄入途径的危害商，无量纲；

ADD_{oral} 为污染物消化道摄入途径的日均暴露剂量[$\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$]；

RfD_{oral} 为污染物消化道摄入途径的参考剂量[$\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$]；

$IVBA_{oral}$ 为实测的消化道摄入途径的重金属生物有效性。

9.2.1.3 经皮肤接触途径

对于皮肤接触途径，已在暴露评估公式中考虑皮肤对化学污染物的吸收因子（ ABS_d ），风险计算公式中不再考虑其生物可给性或生物有效性，采用公式(3)计算：

$$HQ_{derm} = \frac{ADD_{derm}}{RfD_{derm}} \dots\dots\dots(3)$$

式中：

HQ_{derm} 为污染物皮肤接触途径的危害商，无量纲；

ADD_{derm} 为污染物皮肤接触途径的日均暴露剂量[$\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$]；

RfD_{derm} 为污染物皮肤接触途径（或采用经口途径替代）的参考剂量[$\text{mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$]。

9.2.2 致癌风险估算

9.2.2.1 经呼吸道吸入途径

对无阈化合物，通过吸入途径暴露的致癌风险采用公式(4)计算：

$$R_{inh} = ADD_{inh} \times SF_{inh} \times IVBA_{inh} \dots\dots\dots(4)$$

式中：

R_{inh} 为污染物经呼吸吸入途径的终生致癌超额风险度，无量纲；

ADD_{inh} 为污染物的日均暴露剂量[mg/(kg·d)]；

SF_{inh} 为致癌斜率因子[mg/(kg·d)]⁻¹；

$IVBA_{inh}$ 为实测的经呼吸途径的重金属生物有效性。

9.2.2.2 经消化道摄入途径

对无阈化合物，通过经消化道摄入（饮水、膳食或尘土）途径暴露的致癌风险计算见公式(5)：

$$R_{oral} = ADD_{oral} \times SF_{oral} \times IVBA_{oral} \dots\dots\dots(5)$$

式中：

R_{oral} 为污染物经消化道摄入途径的终生致癌超额风险度，无量纲；

ADD_{oral} 为污染物的日均暴露剂量[mg/(kg·d)]；

SF_{oral} 为致癌斜率因子[mg/(kg·d)]⁻¹；

$IVBA_{oral}$ 为实测的经口摄入或皮肤接触途径的重金属生物有效性。

9.2.2.3 经皮肤接触途径

对于皮肤接触途径，已在暴露评估公式中考虑皮肤对化学污染物的吸收因子（ ABS_d ），致癌风险计算公式中不再考虑其生物可给性或生物有效性，采用公式(6)计算：

$$R_{derm} = ADD_{derm} \times SF_{derm} \dots\dots\dots(6)$$

式中，

R_{derm} 为污染物经皮肤暴露途径的终生致癌超额风险度，无量纲；

ADD_{derm} 为污染物经皮肤暴露途径的日均暴露剂量[mg/(kg·d)]；

SF_{derm} 为经皮肤暴露途径致癌斜率因子[mg/(kg·d)]⁻¹；

9.2.3 多途径暴露风险估算

多途径健康风险估算参考《区域环境污染健康风险评估技术导则》方法进行。

9.3 敏感性和不确定性分析

识别重金属风险评估全过程包括暴露评估、危害评估和风险表征各个不同阶段不确定性的来源，并进行定性描述或定量分析。其中，不确定性分析参照 GB/T 27921 中规定的蒙特卡洛模拟方法，敏感性分析参照 HJ 875 中规定的方法。

9.4 风险可接受水平与评估结论

对于单一重金属污染物，本标准规定非致癌风险的可接受危害商为 1；对于致癌风险，可接受致癌风险水平为 10^{-6} 。

根据风险可接受水平，通过综合判断获得风险可接受或不可接受的结论。当重金属环境健康风险不可接受或不能满足生态环境管理需求时，应说明存在的重大环境健康风险及其关键环节。

10 报告编制要求

重金属人群健康风险评估报告应由评估方案（包括评估目的、评估范围、评估内容、评估步骤与方法、质量控制等）、危害识别、危害表征、暴露评估、风险表征和评估结论组成。具体编制要求按 HJ 1111 执行。

附录 A
(资料性附录)
重金属的毒性参数

| CAS 编号 | 中文名称 | 吸入参考剂量 RfC(mg/m ³) | | 口服参考剂量 RfD _o (mg/kg-day) | | 吸入致癌斜率因子 SF _{in} (mg/kg-day) ⁻¹ | | 口服致癌斜率因子 SF _o (mg/kg-day) ⁻¹ | | 吸入单位风险因子 URF(ug/m ³) ⁻¹ | | 消化道吸 收效率因 子 ABS _{GI} | 皮肤接触 吸收效率 因子 ABS |
|------------|------|-----------------------------------|-------|--|-------|--|-------|---|-------|---|-------|-------------------------------------|------------------------|
| | | 值 | 来源 | 值 | 来源 | 值 | 来源 | 值 | 来源 | 值 | 来源 | | |
| 7440-38-2 | 砷 | 1.5×10 ⁻⁵ | OEHHA | 3×10 ⁻⁴ | IRIS | 1.2×10 ¹ | OEHHA | 1.5 | IRIS | 4.3×10 ⁻³ | IRIS | 1 | 0.03 |
| 7440-43-9 | 镉 | 1×10 ⁻⁴ | IRIS | 1×10 ⁻³ | IRIS | 1.5×10 ¹ | OEHHA | - | - | 1.8×10 ⁻³ | IRIS | 0.025 | 0.001 |
| 7439-92-1 | 铅 | 1.5×10 ⁻⁴ | IRIS | - | - | 4.2×10 ⁻² | OEHHA | 8.5×10 ⁻³ | OEHHA | 1.2×10 ⁻⁵ | OEHHA | 1 | - |
| 16065-83-1 | 三价铬 | 1.4×10 ⁻⁴ | IRIS | 1.5 | IRIS | - | - | - | - | - | - | 0.013 | - |
| 18540-29-9 | 六价铬 | 1×10 ⁻⁴ | IRIS | 3×10 ⁻³ | IRIS | 5.1×10 ² | OEHHA | 1.2×10 ⁻² | IRIS | 1.2×10 ⁻² | IRIS | 0.025 | - |
| 7439-97-6 | 汞 | 3×10 ⁻⁴ | IRIS | 1.6×10 ⁻⁴ | RAIS | - | - | - | - | - | - | 0.07 | - |
| 22967-92-6 | 甲基汞 | - | - | 1×10 ⁻⁴ | IRIS | - | - | - | - | - | - | 1 | - |
| 7429-90-5 | 铝 | 5×10 ⁻³ | PPRTV | 1 | PPRTV | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7440-36-0 | 铈 | 4×10 ⁻⁴ | IRIS | 4×10 ⁻⁴ | IRIS | - | - | - | - | - | - | 0.15 | - |
| 7440-39-3 | 钡 | 5×10 ⁻⁴ | IRIS | 0.2 | IRIS | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7440-41-7 | 铍 | 2×10 ⁻⁵ | IRIS | 2×10 ⁻³ | IRIS | - | - | - | - | 2.4×10 ⁻³ | IRIS | - | - |
| 7440-42-8 | 硼 | 2×10 ⁻² | IRIS | 0.2 | IRIS | - | - | - | - | | | - | - |
| 7440-48-4 | 钴 | 6.0×10 ⁻⁶ | PPRTV | 3×10 ⁻⁴ | PPRTV | - | - | - | - | 9×10 ⁻³ | PPRTV | 1 | - |
| 7440-50-8 | 铜 | - | - | 4×10 ⁻² | RSL | - | - | - | - | - | - | 1 | - |
| 7439-89-6 | 铁 | - | - | 0.7 | PPRTV | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7439-96-5 | 锰 | 8.4×10 ⁻⁴ | IRIS | 0.14 | IRIS | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7439-98-7 | 钼 | - | - | 5×10 ⁻³ | IRIS | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7440-02-0 | 镍 | 2.6×10 ⁻⁷ | OEHHA | 2×10 ⁻² | IRIS | - | - | 9.1×10 ¹ | OEHHA | 2.6×10 ⁻⁴ | IRIS | 0.04 | - |
| 7782-49-2 | 硒 | - | - | 5×10 ⁻³ | IRIS | - | - | - | - | - | - | - | - |

T/CSES XXX—202X

| CAS 编号 | 中文名称 | 吸入参考剂量 RfC(mg/m ³) | | 口服参考剂量 RfD _o (mg/kg-day) | | 吸入致癌斜率因子 SF _m (mg/kg-day) ⁻¹ | | 口服致癌斜率因子 SF _o (mg/kg-day) ⁻¹ | | 吸入单位风险因子 URF(ug/m ³) ⁻¹ | | 消化道吸收效率因子 ABS _{GI} | 皮肤接触吸收效率因子 ABS |
|-----------|------|-----------------------------------|-------|--|------|---|----|---|----|---|-------|-----------------------------|----------------|
| | | 值 | 来源 | 值 | 来源 | 值 | 来源 | 值 | 来源 | 值 | 来源 | | |
| 7440-22-4 | 银 | - | - | 5×10 ⁻³ | IRIS | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7440-23-5 | 钠 | - | - | | | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7440-28-0 | 铊 | - | - | 1×10 ⁻⁵ | IRIS | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 7440-31-5 | 锡 | - | - | 0.6 | RSL | - | - | - | - | - | - | 1 | - |
| 1314-62-1 | 钋 | 7.0×10 ⁻⁶ | PPRTV | 9×10 ⁻³ | IRIS | - | - | - | - | 8×10 ⁻³ | PPRTV | 0.026 | - |
| 7440-66-6 | 锌 | - | - | 0.3 | IRIS | - | - | - | - | - | - | 1 | - |
| 7440-32-6 | 钛 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

注：IRIS = Integrated Risk Information System；RAIS=the Risk Assessment Information System；ATSDR = Agency for Toxic Substances and Disease Registry；OEHHA = California Office of Environmental Health Hazard Assessment；RSL=Regional Screening Levels；PPRTV=The Provisional Reviewed Toxicity Values。