

二噁英类环境健康风险评估 技术规范

编 制 说 明

标准编制组
二〇二一年三月

目 录

1	工作概况.....	1
1.1	任务来源.....	1
1.2	工作过程.....	1
2	制订本标准的必要性及可行性.....	1
2.1	二噁英类环境健康问题备受关注.....	1
2.2	当前我国缺乏针对二噁英类的健康风险评估技术规范.....	2
2.3	可行性.....	3
3	国内外二噁英类环境健康风险评估研究进展.....	3
3.1	国内外重点关注的二噁英类类别.....	3
3.2	二噁英类环境健康评估研究进展.....	4
4	编制原则.....	5
5	主要技术内容说明.....	5
5.1	层次框架.....	5
5.3	技术要点.....	6
5.3.1	适用范围.....	6
5.3.2	规范性引用文件.....	6
5.3.3	术语和定义.....	6
5.3.4	评估程序.....	7
5.3.5	数据收集与评估.....	7
5.3.6	暴露评估.....	7
5.3.7	毒性评估.....	9
5.3.8	风险表征.....	10
5.3.9	报告编制.....	12
6	对实施本标准的建议.....	12

1 工作概况

1.1 任务来源

自 2012 年起，生态环境部（原环境保护部）组织华南环境科学研究所作为技术牵头单位，实施了“全国重点地区环境与健康专项调查”“环境健康风险哨点监测”和“重点地区环境与健康调查、监测和风险评估”等环境健康工作。

生态环境部华南环境科学研究所实施上述项目基础上，对环境调查、暴露调查及人群健康评价等技术环节进行了验证和摸索，建立了一套适用于我国实际的二噁英类环境健康风险评估技术，在广东、上海、江苏、浙江等地指导多个典型垃圾焚烧或电子垃圾拆解企业开展了企业周边区域二噁英类污染的环境健康风险评估工作，并在实际应用中对该技术方法进行补充和完善。

2020 年，根据《关于开展中国环境科学学会团体标准申报工作的通知》的相关要求，生态环境部华南环境科学研究所牵头起草了《二噁英类环境健康风险评估技术规范》（以下简称“本标准”）并申请立项。根据《中国环境科学学会标准管理办法》的有关规定，经形式审查、专家论证等程序，该标准列入 2020 年中国环境科学学会第二批团体标准立项项目。

1.2 工作过程

本标准是“全国重点地区环境与健康专项调查”“环境健康风险哨点监测”和“重点地区环境与健康调查、监测和风险评估”等多项环境健康工作成果的系统总结：

2016 年～2019 年，在实施“全国重点地区环境与健康专项调查”“环境健康风险哨点监测”和“重点地区环境与健康调查、监测和风险评估”等项目过程中，研究建立二噁英类环境健康风险评估技术：

2020 年 1 月～6 月，生态环境部华南环境科学研究所充分梳理前期研究内容和工作基础，形成《二噁英类环境健康风险评估技术规范》（草案）。

2020 年 7 月，编制组根据《关于开展中国环境科学学会团体标准申报工作的通知》的相关要求，明确了研究目标、设定了编制原则、确立了实施方案、制订了工作计划和任务分解等，编制完成《二噁英类环境健康风险评估技术规范》开题报告。

2020 年 9 月 11 日，在北京外国专家大厦二层召开《二噁英类环境健康风险评估技术规范》团体标准立项论证会，顺利通过专家论证立项。

2020 年 9 月-2021 年 1 月，根据专家意见对标准进行修改完善，形成《二噁英类环境健康风险评估技术规范》（征求意见稿）及其编制说明。

2 制订本标准的必要性及可行性

2.1 二噁英类环境健康问题备受关注

二噁英类是多氯代二苯并对二噁英（PCDDs）和多氯代二苯并呋喃（PCDFs）的总称，共 210 种化合物，由于氯原子取代数目和位置不同，共构成了 75 种 PCDD 和 135 种 PCDF，广泛存在于各种环境介质（大气、土壤、灰尘、生物体等）中，在 210 种二噁英类中，有

17 种物质其 2,3,7,8 位全部被氯原子取代，具有毒性当量，被认为对人类健康有较大危害，其中 2,3,7,8 四氯代二苯并对二噁英（2,3,7,8-TCDD）是目前已知化合物中毒性最大且动物实验表明其具有强致癌性。除此之外二噁英类还有致畸、致突变毒性，对神经、生殖、内分泌和免疫系统具有毒性作用，能降低人体免疫能力，导致对感染和癌症的抵抗力下降，鉴于此 2001 年二噁英被列入《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》（以下简称 POPs 公约）中首批受控的持久性环境污染物之一。

我国是履行 POPs 公约的缔约国，2004 年我国科研人员以工具包为指导，兼顾文献数据和部分排放源的实际监测数据，计算并汇总了中国相关行业二噁英排放量。调查研究结果显示，我国 2004 年各类排放源二噁英类排放总量为 10.2kgTEQ，主要排放源为金属生产、发电和供热及废物焚烧，这三类排放源贡献量合计占到了总排放量的 81%。为了更好的履行 POPs 公约，2006 年起环境保护部污染防治司在上述研究基础上又组织开展了全国持久性有机污染物状况调查。2010 年 10 月 19 日，环保部联合外交部、国家发改委、科技部、工信部、财政部、住房城乡建设部、商务部和国家质检总局九部委联合发布的《关于加强二噁英污染防治的指导意见》以下简称《指导意见》，《指导意见》显示，我国 17 个主要行业二噁英排放企业有万余家，涉及钢铁、再生有色金属和废弃物焚烧等多个领域。并制定了二噁英类污染防治的路线图和时间表，规划至 2015 年，我国应建立比较完善的二噁英类污染防治体系和长效监管机制，重点行业二噁英类排放强度需降低 10%，基本控制目前呈现的二噁英类排放增长趋势。环境保护部提出，到 2015 年，中国要全面控制废物焚烧、钢铁、造纸、化工等六大重点行业二噁英类排放增长的趋势。

二噁英类为人类生产生活过程中释放的副产物，如废物焚烧、金属冶炼、造纸、制浆漂白等过程都会产生二噁英。2003 年联合国环境规划署（UNEP）编制的《鉴别及量化二噁英类排放标准工具包》（以下简称工具包），将二噁英类排放源按照行业类别共分成 10 大类 62 子类，10 大类行业分别为废物焚烧、钢铁和其它金属生产、发电和供热、矿物产品生产、交通、非受控燃烧过程、生产和使用化学品以及消耗品、其它来源、废物处理和鉴别热点等。

伴随着经济的迅速发展，工业化和城市化进程飞速推进，二噁英类排放和污染问题日益严重。由于二噁英类是持久性环境污染物，降解十分缓慢，长期存在于环境中，进入人体的机会多，并可在人体内进行蓄积，因此，其健康危害日益受到关注。二噁英类中的 2,3,7,8-TCDD 确定为一类致癌物，二噁英类还是一类具有极强的致突变和致畸作用的物质，前期研究显示，二噁英类还具有神经毒性、生殖毒性、内分泌干扰毒性和免疫毒性。因此，亟须开展二噁英类的环境健康危害评估。

2.2 当前我国缺乏针对二噁英类的健康风险评估技术规范

以保护人体健康为目标的环境健康风险受到党和政府的高度重视。《中华人民共和国环境保护法》第 39 条要求“国家建立、健全环境与健康监测、调查和风险评估制度”；《“健康中国 2030”规划纲要》将建设健康环境作为建设健康中国的一个重点；《国家环境保护标准

“十三五”发展规划》明确提出“推动环境健康风险管理工作，制定环境与健康现场监测、调查、暴露评价、风险评价等系列管理技术规范，科学指导并规范我国环境与健康工作”。环境健康风险评估是连接科学研究与风险管理的重要环节，是政府从源头预防、加强对具有高健康风险的环境污染因素主动管理的工作基础，对于提高生态环境管理水平具有重要现实意义。

然而，当前我国在生态环境管理中缺乏具有针对性、指导性的二噁英类污染人体健康风险技术规范，如何对二噁英类造成人群健康损害的可能性及其程度做出科学的估计，以支撑二噁英类污染的健康风险管理和治理，已成为我国生态环境保护管理工作的亟需解决的关键问题。因此，制定《二噁英类环境健康风险评估技术规范》具有重要的管理需求和现实意义。

2.3 可行性

目前，《生态环境健康风险评估技术指南 总纲》（HJ 1111）作为环境健康风险评估的顶层设计已发布，对环境健康风险评估的一般性程序、内容、方法和技术要求等进行了规定；此外涉及环境与健康调查、环境污染物暴露评估等一系列基础类方法标准，如 HJ839、HJ877、HJ876、HJ875 等也相继发布。因此，在总纲和基础方法类技术指南的指导下，针对二噁英类制定环境健康风险评估的方法也相对成熟。

本标准是“全国重点地区环境与健康专项调查”、“环境健康风险哨点监测”和“重点地区环境与健康调查、监测和风险评估”等项目环境健康风险评估成果的系统总结，在广东、上海、江苏、浙江等地指导多个典型垃圾焚烧或电子垃圾拆解企业开展了企业周边区域二噁英类污染的环境健康风险评估工作，并在实际应用中对该技术方法进行补充和完善。应用表明，该技术方法具有很好的可行性和实用性。

3 国内外二噁英类环境健康风险评估研究进展

3.1 国内外重点关注的二噁英类类别

二噁英类种类达 210 种，其中有 17 种物质其 2,3,7,8 位全部被氯原子取代，具有毒性当量，且被认为对人类健康有较大危害。本标准对 EPA 及国内《环境二噁英类监测技术规范》（HJ 916）、《水质 二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法》（HJ 77.1）《环境空气和废气 二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法》（HJ 77.2）《固体废物 二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法》（HJ 77.3）《土壤和沉积物 二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法》（HJ 77.4—2008）《食品中二噁英及其类似物毒性当量的测定》（GB 5009.205-）等标准所纳入的二噁英类进行了调研，国内外标准均重点关注了这 17 种其 2,3,7,8 位全部被氯原子取代的二噁英类。因此，本标准选取这 17 种对人类健康有较大危害的二噁英类开展环境健康风险评估，包括 2,3,7,8-四氯代二苯并二噁英、1,2,3,7,8-五氯代二苯并二噁英、1,2,3,4,7,8-六氯代二苯并二噁英、1,2,3,6,7,8-六氯代二苯并二噁英、1,2,3,7,8,9-六氯代二苯并二噁英、1,2,3,4,6,7,8-七氯代二苯并二噁英、1,2,3,4,6,7,8,9-八氯二苯并-对二恶英、2,3,7,8-四氯代二苯并呋喃、1,2,3,7,8-五氯

代二苯并呋喃、2,3,4,7,8-五氯代二苯并呋喃、1,2,3,4,7,8-六氯代二苯并呋喃、1,2,3,6,7,8-六氯代二苯并呋喃、2,3,4,6,7,8-六氯代二苯并呋喃、1,2,3,7,8,9-六氯代二苯并呋喃、1,2,3,4,6,7,8-七氯代二苯并呋喃、1,2,3,4,7,8,9-七氯二苯并呋喃、1,2,3,4,6,7,8,9-八氯代二苯并呋喃。

3.2 二噁英类环境健康评估研究进展

众所周知，二噁英类化合物其急性毒性相当于氰化钾的 100~1000 倍，被称为“世纪之毒”。二噁英微量摄入人体不会立即引起病变，但由于其亲脂性和稳定性极强（TCDD 在人体内半衰期为 5~7 年），一旦摄入不易排出，长期蓄积下来的二噁英类化合物最终会对人体造成危害。1984 年美国科学院（NAS）率先公布了 TCDD 的 TDI 以此评估人类通过饮食暴露引起的二噁英风险。TDI 是食品和水体中化合物污染情况的评估方法，指人体终生摄入某一种化学物质对健康不产生任何已知的急性、慢性毒害作用等不良影响的剂量，通常是通过动物的急性、慢性试验，取得无明显毒害作用的剂量之后推广至人群，该剂量必须保证接触人群的安全性。TDI 是通常制订各种环境污染物排放控制标准以及食品、饮用水标准等过程中不可缺少的最基本参数。NAS 根据小白鼠长期毒性试验结果，提出了 TCDD 最高无效应剂量(maximum non-effect level)或 无明显毒效应剂量(no observed effect level, NOEL) 为 $1 \text{ ng}/(\text{kg}(\text{体重})\cdot\text{d})$ 。这个值得到世界各国认可，各国根据本国实际情况提出不同的安全因子(safety factor, Fs) 从而确定适用于本国的 TDI。虽然 TCDD-NOEL 值为 $1 \text{ ng}/(\text{kg}(\text{体重})\cdot\text{d})$ 得到全世界公认，但由于各国采用的 Fs 差异很大，因此目前各国的 TDI 值并不一致。

20 世纪 70 年代至 80 年代是健康风险评价的形成阶段，以美国为代表的许多国家的管理部门及研究人员对其进行了大量探索与实践，并引入“概率”观念，基本建立了较完整的健康风险评价体系。1983 年美国国家科学院（NAS）提出了健康风险评价的“四步法”，即危害识别、剂量一效应关系评估、暴露评估及风险表征，此方法被许多国家和国际组织采用；20 世纪 80 年代以来，以“四步法”为基础的健康风险评价随着科学技术的进步不断发展与完善，在此期间，美国、欧盟、WHO 等国家或组织不断制定和颁布了有关健康风险评价的一系列技术文件、指南或准则，并开发了用于健康风险评价的数据库、应用程序等工具。美国国家环保局为全面确定二噁英类化合物的健康风险进行了长达 4 年的研究，确认二噁英类化合物对人类具有致癌、致畸、致突变能力，显著增加癌症死亡率，降低人体免疫能力，影响正常荷尔蒙分泌。美国环保局评估的 TCDD 经口摄入的 RfD 为 $7 \times 10^{-10} \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ 。OEHHA 公布的毒性标准数据库（Toxicity Criteria Database）中 TCDD 经呼吸和口摄入的致癌风险的斜率因子（Slope Factor）为 $1.3 \times 10^5 \text{ mg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$ ，经呼吸吸入的单元风险因子（Inhalation Unit Risk）为 $3.8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{mg}$ 。

世界卫生组织（world health organization, WHO）采用毒性当量因子（toxic equivalency factor, TEF）来评价二噁英类化合物的生物毒性，并以生物体毒性最强的 2,3,7,8- TCDD 的 TEF 值作为参考标准值 1，其他二噁英类化合物 TEF 以此为标准折算。国际通用毒性当量因子（I-TEF）包括 7 种 PCDDs、10 种 PCDFs。利用这些毒性因子，样品中二噁英类化

合物的总毒性就可表示为样品中各同系物浓度与其毒性当量因子积的总和，称为毒性当量（toxic equivalencies, TEQ）。

健康风险评估技术方法在我国环境管理中不断得到重视和推广，尤其是《生态环境健康风险评估技术指南 总纲》的发布，推动了我国环境健康风险评估技术方法的应用和发展。因 TDI 方法仅评估了来自食物暴露引起的二噁英风险，未能全面的评估灰尘、土壤、大气等介质中二噁英类暴露产生的人群健康风险。为全面评估人体暴露环境中的二噁英类环境健康风险，通常是通过测定空气、土壤、灰尘和农畜水产品等环境中不同二噁英类的毒性当量浓度结合四步法进行评估。

4 编制原则

二噁英类的健康风险评价程序与方法制订将遵循以下原则：

（1）科学性原则

标准制定应充分调研总结国内外环境健康风险评估、二噁英类环境健康风险评估的理论、方法和实践经验，比较不同机构在二噁英类污染健康风险评估技术规范的同异点，分析其优缺点，充分考虑其理论和方法的科学性，提出本标准的关键技术。

（2）分类指导原则

二噁英类在不同的环境介质对人体有不同的暴露途径和暴露方式，本标准分别针对不同的暴露途径和方式制订相应的健康风险评价程序和方法，以达到分类指导的目的。

（3）实用性原则

标准的制定应以满足环境健康风险管理的需求为目标，在构建环境健康风险评估原则、程序和框架的基础上，针对环境管理具体业务需求提出切实可行的技术要求。

（4）阶段性原则

任何标准都不是一成不变的，应随着二噁英类环境健康风险评估技术的进步不断完善，定期对标准进行修订。

5 主要技术内容说明

5.1 层次框架

技术规范由 9 部分组成，包括：

- （1）适用范围
- （2）规范性引用文件
- （3）术语和定义
- （4）工作内容与程序
- （5）数据收集与评估
- （6）暴露评估
- （7）毒性评估
- （8）风险表征

(9) 报告编制

5.3 技术要点

5.3.1 适用范围

本标准规定了针对二噁英排放企业周边区域开展二噁英类人群健康风险评估的一般性原则、内容、程序、方法和技术要求。

本标准适用于二噁英类排放企业周边区域环境介质（空气、土壤/尘等）及农畜水产品中 17 种二噁英类的环境健康风险评估。

5.3.2 规范性引用文件

本标准主要引用了以下 11 个规范性文件，具体引用内容如下：

表 1 规范性引用文件

编号	文件号	规范性引用文件	引用内容
1	GB 5009.205	食品中二噁英及其类似物毒性当量的测定	农畜水产品中二噁英类分析
2	HJ 1111	生态环境健康风险评估技术指南 总纲	工作内容与程序框架
3	HJ 2.1	环境影响评价技术导则 总纲	工作内容与程序框架
4	HJ 25.3	建设用地土壤污染风险评估技术导则	土壤暴露评估部分
5	HJ 77.2	环境空气和废气二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法	空气中二噁英类分析
6	HJ 77.4	土壤和沉积物二噁英类的测定 同位素稀释高分辨气相色谱-高分辨质谱法	土壤、积尘中二噁英类分析
7	HJ 839	环境与健康现场调查技术规范 横断面调查	数据收集与调查部分，环境空气、室内空气、室内积尘、土壤、农畜水产品、饮用水等监测相关要求
8	HJ 875	环境污染物人群暴露评估技术指南	二噁英类暴露评估
9	HJ 876	儿童土壤摄入量调查技术规范	暴露参数数据调查
10	HJ 877	暴露参数调查技术规范	暴露参数数据调查
11	环境保护部公告 2017 年第 63 号	环境与健康横断面调查数据统计分析技术指南	数据评估

5.3.3 术语和定义

标准主要对以下术语进行了定义，其定义的依据主要来自于国家相应标准。

二噁英类：引自《环境二噁英类监测技术规范》(HJ 916-2017)中关于二噁英类的定义。

二噁英类毒性当量因子：引自《环境二噁英类监测技术规范》(HJ 916-2017)中关于毒性当量因子的定义。

二噁英类毒性当量浓度：引自《环境二噁英类监测技术规范》（HJ 916-2017）中关于毒性当量浓度的定义。

5.3.4 评估程序

本标准主要参考《生态环境健康风险评估技术指南 总纲》（HJ 1111），确定二噁英类环境健康风险评估的程序。本标准将健康风险评估划分为数据收集与评估、暴露评估、毒性评估（包括危害性评估和剂量—反应关系评估）和风险表征四个相互联系的部分。为了突出二噁英类环境健康风险评估的目的性，本标准在传统的风险评估过程“四步法”的基础上，借鉴了 Nouwen 等（Nouwen J et al, 2001）文献中的暴露模型并结合 HJ 875、HJ 1111 对暴露模型进行优化；重点关注经口摄食、呼吸吸入和皮肤接触三个暴露途径；增加了数据收集与评估，与国外环境健康风险评估框架的进展相一致。

5.3.5 数据收集与评估

数据收集与调查主要参考 HJ 839 对环境与健康现场预调查和正式调查阶段获得的相关资料和数据获取。环境空气、室内空气、土壤、食品等中二噁英类的实验室分析按照 HJ77.2、HJ77.4、GB 5009.205 相关规定执行；评价区域中敏感人群的暴露参数按照 HJ877 和 HJ876 的相关规定开展现场调查获得。数据缺失值、未检出值、离群值等按照环境保护部公告 2017 年第 63 号 环境与健康横断面调查数据统计分析技术指南中的相关要求执行。

5.3.6 暴露评估

（1）暴露模型

二噁英类主要通过工业排放产生，如废物焚烧、金属冶炼、造纸、制浆漂白等过程都会产生二噁英。二噁英类从污染源排放进入大气中，会随着大气的运动扩散，使其污染范围不断扩大，大气中的二噁英类还会在气相和颗粒相间分配，被悬浮颗粒物吸附形成大的颗粒物而发生干湿沉降，通过干湿沉降作用进入水体、土壤以及植物等，同时可以通过水生和陆生生态系统逐级放大，累积到较高的浓度。因此一般人群往往能通过呼吸吸入、食物摄入和皮肤接触等途径暴露二噁英类，从而危害人体健康。呼吸吸入途径为空气中飘浮的二噁英类通过呼吸过程直接被人体吸入，食物摄入途径由于二噁英类具有较好的脂溶性，故饮食来源的二噁英类主要来着动物源性的含脂类食物中，土壤接触与皮肤摄入途径由于皮肤角质层具有阻挡二噁英类通过的作用，实际能进入人体的有效剂量相对很低。据估计，一般人群暴露二噁英类的途径中膳食暴露为主导，其次是呼吸暴露和皮肤暴露。

对于二噁英类的致癌效应，考虑人群的终生暴露危害，一般根据儿童期和成人期的暴露来评估二噁英类的终生致癌风险；对于二噁英类非致癌效应，儿童较为敏感，一般根据儿童期暴露来评估二噁英类的非致癌危害效应。

二噁英类通过环境介质进入人体的途径有三种：呼吸吸入、皮肤接触和经口摄食。不同暴露途径的暴露模型不同。暴露模型主要参考 Nouwen 等（Nouwen J et al, 2001）文献的

暴露模型，并结合 HJ 875、HJ 1111 对暴露模型进行优化，暴露模型计算公式详见本标准附录 B。

(2) 暴露参数

本标准的暴露参数主要参考《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3-2019），HJ 25.3-2019 未做规定的，采用 Nouwen 等（Nouwen J et al, 2001）文献中推荐的暴露参数。

表 2 暴露参数及推荐值

参数符号	参数名称	单位	推荐值	来源
DAIR _{ch}	儿童每日空气呼吸量	m ³ ·d ⁻¹	7.5	HJ 25.3
DAIR _{ad}	成人每日空气呼吸量	m ³ ·d ⁻¹	14.5	HJ 25.3
f _r	污染物停留在肺泡中的分数	无量纲	0.75	Nouwen J et al, 2001
tf	人群暴露的时间分数	无量纲	1	Nouwen J et al, 2001
BW _{ch}	儿童体重	kg	19.2	HJ 25.3
BW _{ad}	成人体重	kg	61.8	HJ 25.3
f _{mi-ch}	儿童摄入的牛奶来自污染源的比例	无量纲	1	Nouwen J et al, 2001
f _{mi-ad}	成人摄入的牛奶来自污染源的比例	无量纲	1	Nouwen J et al, 2001
Q _{mi,ch}	儿童牛奶摄入率	L·d ⁻¹	0.5	Nouwen J et al, 2001
Q _{mi,ad}	成人	L·d ⁻¹	0.3	Nouwen J et al, 2001
f _{fv-ch}	儿童摄入的新鲜蔬菜来自污染源的比例	无量纲	1	Nouwen J et al, 2001
f _{fv-ad}	成人摄入的新鲜蔬菜来自污染源的比例	无量纲	1	Nouwen J et al, 2001
Q _{fv,ch}	儿童新鲜蔬菜摄入率	kg·d ⁻¹	0.15	Nouwen J et al, 2001
Q _{fv,ad}	成人新鲜蔬菜摄入率	kg·d ⁻¹	0.345	Nouwen J et al, 2001
f _{me-ch}	儿童摄入的肉类（含鸡蛋）来自污染源的比例	无量纲	1	Nouwen J et al, 2001
f _{me-ad}	成人摄入的肉类（含鸡蛋）来自污染源的比例	无量纲	1	Nouwen J et al, 2001
Q _{me,ch}	儿童肉类（含鸡蛋）摄入率	kg·d ⁻¹	0.07	Nouwen J et al, 2001
Q _{me,ad}	成人肉类（含鸡蛋）摄入率	kg·d ⁻¹	0.14	Nouwen J et al, 2001
Ing _{q-ch}	儿童每日土壤摄入量	kg·d ⁻¹	2×10 ⁻⁵	HJ 25.3
Ing _{q-ad}	成人每日土壤摄入量	kg·d ⁻¹	1×10 ⁻⁵	HJ 25.3
SA _{o-ch}	儿童手臂和手暴露面积	m ²	0.28	Nouwen J et al, 2001
SA _{o-ad}	成人手臂和手暴露面积	m ²	0.17	Nouwen J et al, 2001

SA_{i-ch}	儿童手暴露面积	m^2	0.05	Nouwen J et al, 2001
SA_{i-ad}	成人手暴露面积	m^2	0.9	Nouwen J et al, 2001
Der_{o-ch}	儿童室外皮肤灰尘覆盖量	kg/cm^2	0.0051	Nouwen J et al, 2001
Der_{o-ad}	成人室外皮肤灰尘覆盖量	kg/cm^2	0.0357	Nouwen J et al, 2001
Der_{i-ch}	儿童室内皮肤灰尘覆盖量	kg/cm^2	5.6×10^{-4}	Nouwen J et al, 2001
Der_{i-ad}	成人室内皮肤灰尘覆盖量	kg/cm^2	5.6×10^{-4}	Nouwen J et al, 2001
t_{fso-ch}	儿童室外暴露的时间分数	无量纲	0.151	Nouwen J et al, 2001
t_{fso-ad}	成人室外暴露的时间分数	无量纲	0.158	Nouwen J et al, 2001
t_{fsi-ch}	儿童室内暴露的时间分数	无量纲	0.306	Nouwen J et al, 2001
t_{fsi-ad}	成人室内暴露的时间分数	无量纲	0.458	Nouwen J et al, 2001
$ts-ch$	儿童每日睡眠时间	h	8	Nouwen J et al, 2001
$ts-ad$	成人每日睡眠时间	h	8	Nouwen J et al, 2001
fm	矩阵因子	无量纲	0.15	Nouwen J et al, 2001

5.3.7 毒性评估

(1) 危害性评估

参考《生态环境健康风险评估技术指南 总纲》（HJ 1111），危害识别主要针对每一种可能的健康危害或毒性效应，分别判断人体证据和动物证据的证明，集成人体证据、动物证据和作用机制证据等不同证据链的信息，对目标环境因素与每一种可能的健康危害或毒性效应间的因果关联做出总体判断。二噁英类对人类具有致癌、致畸、致突变能力，显著增加癌症死亡率，降低人体免疫能力，影响正常荷尔蒙分泌。TCDD 为一级致癌物，是人类已知的毒性最强的致癌剂，动物试验表明 TCDD 致肝癌剂量仅需 10 ng/kg(体重)。二噁英类可以引起癌症、生殖和发育障碍，抑制免疫系统功能，造成神经系统和肝脏损伤，乃至死亡。

(2) 剂量—反应关系

剂量—效应关系评估是健康风险评价的重要部分，目的是为求得污染物的剂量（浓度）与主要的特定健康效应的定量关系，确定暴露水平与健康效应发生概率之间的关系。剂量—效应关系的评估包括有阈化合物剂量—效应评估和无阈化合物剂量—效应评估。剂量—效应关系评估主要通过动物毒性实验和流行病学调查，研究污染物的毒性作用机制，确定对有阈、无阈化合物的参考剂量/参考浓度和致癌斜率因子。

目前在对剂量—效应关系不断深入研究的基础上，一些国家和部门构建了针对环境中各种化学物质的毒理数据库。例如美国环保局的综合风险信息系统（Integrated Risk Information System, IRIS），该系统包含了近 600 种化学物质的致癌效应与非致癌效应毒理数据，并不断更新。“RSL”代表数据来自美国环保局“区域筛选值（Regional Screening Levels）总表”污

染物毒性数据（2018 年 5 月发布）。国加州环保局环境健康危害评估办公室（Office of Environmental Health Hazard Assessment, OEHHA）构建了毒性标准数据库，包含了 400 多种化学物质的毒性资料，并不断更新完善。这些化学物质毒理数据库均包含了各种化学物质的剂量—效应关系数据（参考剂量和致癌强度系数），这些数据库的构建，极大地方便了健康风险评价和管理工作，已成为世界各国相关部门获取化学物质毒性资料的重要来源。二噁英类由于其各化合物具有类似的化学结构及相同的致癌反应机理，因此，目前对二噁英类健康评价通常采用毒性当量因子（TEF）方法估算 17 种二噁英类相对 2,3,7,8-TCDD 的总毒性当量浓度，然后采用 2,3,7,8-TCDD 的致癌风险系数进行评价。美国环保署计算出 2,3,7,8-TCDD 经口摄入的致癌斜率系数是 $1.3 \times 10^4 \text{ (mg/kg-d)}^{-1}$ ，经呼吸的单位风险因子为 $3.8 \times 10^5 \text{ (mg/m}^3\text{)}^{-1}$ 。2,3,7,8-TCDD 的毒性参数详见表 3。

表 3 二噁英类的毒性参数

序号	毒性参数	值	来源
1	CAS 编号	51207-31-9	-
2	中文名	2,3,7,8-四氯代二苯并呋喃	-
3	英文名	2,3,7,8-TCDD	-
4	吸入参考剂量 RfC(mg/m ³)	4.0×10^{-7}	RSL
5	口服参考剂量 RfD _o (mg/kg-day)	7.0×10^{-9}	IRIS
6	口服致癌斜率因子 SF _o (mg/kg-day) ⁻¹	1.3×10^4	RSL
7	吸入单位风险因子 URF(mg/m ³) ⁻¹	3.8×10^5	RSL
8	消化道吸收效率因子 ABS _{GI}	1	RSL
9	皮肤接触吸收效率因子 ABS	0.03	RSL

5.3.8 风险表征

(1) 毒性当量因子的确定

环境中的 PCDD/Fs 通常是以混合物的形式出现，由于它们的毒性不同，因此在评价其综合毒性时需要进行统一。国际上常把不同组分的 PCDD/Fs 折算成相当于 2,3,7,8-TCDD 的量来表示，称为 TEQ；毒性的强弱以 TEF，即用某 PCDDs/PCDFs 的毒性与 2,3,7,8-TCDD 的毒性的比值表示。表 4 列出了 17 种 PCDD/Fs 活性同类物的毒性当量因子。目前以国际或世界卫生组织(WHO)的毒性当量因子(I-TEF 或 WHO-TEF)作为世界之换算标准，二者之差别主要在于 1998 年 WHO-TEF 之 1,2,3,7,8-PeCDD 调高为 I-TEF 的 2 倍。OCDD 及 OCDF 则调低为 I-TEF 的 1/10。北美地区及我国采用 I-TEF。

表 4 PCDD/Fs 毒性当量因子

名称	WHO-TEF	I-TEF
----	---------	-------

		1998 年	2005 年	
PCDD	2,3,7,8-TCDD	1	1	1
	1,2,3,7,8-PeCDD	1	1	0.5
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1	0.1
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1	0.1
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1	0.1
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01	0.01
	OCDD	0.0001	0.0003	0.001
PCDF	2,3,7,8-TCDF	0.1	0.1	0.1
	1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	0.03	0.05
	2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	0.3	0.5
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1	0.1
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1	0.1
	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1	0.1
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1	0.1
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01	0.01
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01	0.01
	OCDF	0.0001	0.0003	0.001

1) 1997 年世界卫生组织会议提出并于 1998 年发表在学术期刊； 2) 2005 年世界卫生组织会议提出并于 2006 发表在学术期刊。

(2) 风险计算

风险计算的工作内容包括单一途径及多途径健康风险值估算、风险可接受水平、不确定性分析、与评估结论。

(3) 可接受风险水平的确定

美国环保局将单一污染物或暴露途径的可接受致癌风险水平设定为 10^{-6} 。美国密苏里州、新墨西哥等州环保局在制订基于风险评估的土壤筛选值时，均采用致癌风险 10^{-5} 作为可接受风险水平；荷兰住房空间规划和环境部在制定基于健康风险评估标准时，以 10^{-4} 作为可接受致癌风险；瑞典环保局和英国皇家协会推荐的最大可接受水平均为 10^{-6} 。

此外，我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3）规定，对于单一污染物致癌风险，采用 10^{-6} 作为可接受风险水平；对于非致癌风险，采用 1 作为可接受风险水平。《生态环境健康风险评估技术指南 总纲》（HJ 1111）未对可接受风险水平进行规定。

综上，结合我国经济社会发展及技术水平，主要借鉴我国《建设用地土壤污染风险评估技术导则》（HJ 25.3）规定，采用 10^{-6} 作为单一污染物所有暴露途径的可接受致癌风险。对于单一非致癌化合物，本导则采用 1 作为可接受风险水平。

（4）不确定性分析

不确定性分析参照 HJ 1111 中规定的方法执行。

5.3.9 报告编制

报告主要包括评估目的、评估范围、数据来源、评估方法、评估结果、质量控制和不确定性分析、评估结论等部分。当环境健康风险不可接受需求时，应提出风险管控建议。

6 对实施本标准的建议

本技术规范为现阶段指导性技术规范。建议标准发布实施后，根据标准实施情况适时对本标准进行修订，同步加强相关科学研究。