

《土壤污染风险评估指南 天然放射性的辐射危害评价》
团体标准编制说明

《土壤污染风险评估指南 天然放射性的辐射危害评价》编制组

二〇二二年七月

ACEF

目 录

一、任务来源，起草单位，协作单位，主要起草人	1
二、制定标准的必要性和意义	1
三、 主要工作过程	2
四、制定标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系 ...	3
五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述 ...	4
六、重大意见分歧的处理依据和结果	11
七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外 同类标准水平的对比情况	11
八、作为推荐性标准或者强制性标准的建议及其理由	11
九、强制性标准实施的风险点、风险程度、风险防控措施和预案	11
十、实施标准的措施(政策措施/宣贯培训/试点示范/配套资金等)	11
十一、其他应说明的事项	11

一、任务来源，起草单位，协作单位，主要起草人

随着人为活动频繁，天然放射性有不断增加趋势，为有效分级、分类处置与管控因放射性增加而导致的土壤环境污染和公众健康辐射危害，考虑到我国土壤中放射性污染现状与特点，中国疾病预防控制中心提出编制《土壤污染风险评估指南 天然放射性的辐射危害评价》团体标准制定。本文件由中华环保联合会归口，中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所、北京市职业病防治研究院、生态环境部核与辐射安全中心、四川省辐射环境管理监测中心站、国家卫生健康委职业卫生安全研究中心、湖北省疾病预防控制中心、江西省职业病防治研究院、复旦大学、中华环保联合会固危废及土壤污染治理专业委员会等机构、单位参与该项团体标准的起草工作。

本文件主要起草人：邓君、曹磊、周文珊、范胜男、乔宝军、谭方琴、邓磊、王艳、李玉文、张伟军、郝述霞、李梦雪、张子扬、易艳玲、高原、梁巧英

二、制定标准的必要性和意义

天然放射性（Natural radioactivity）是指天然存在的放射性同位素，其能够从不稳定的原子核自发地放出射线，（如 α 射线、 β 射线、 γ 射线等）而衰变形成稳定元素的属性。天然放射性广泛存在于土壤、水体、岩圈、生物圈和空气中，是地球上辐射环境的主要组成。近年来，人为活动引起的天然照射增加显著，例如：采煤和燃煤电厂、金属开采和熔炼、稀土提炼和加工、磷酸盐用于农业肥料、锆及锆加工业、建筑材料生产及加工、石油和天然气开采、水处理、各

类尾矿渣及复利用、钍萃取和应用等，典型天然放射性核素如 ^{226}Ra 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 引起职业人群和公众关键人群组的照射水平处于快速增加的时期。放射性核素通过污染食品、地表外照射、吸入悬浮气溶胶、污染饮用地下水等途径进入人体，不仅扰乱和破坏机体细胞组织正常代谢活动，直接破坏细胞和组织结构，对人体产生躯体损伤效应（如白血病、恶性肿瘤、生育力降低、寿命缩短等）和遗传损伤效应（流产、遗传性死亡和先天畸形等），提高职业人群和公众关键组人群致癌超额危险度，属于环境保护的重要内容。本标准涉及天然放射性污染控制和风险评估技术标准研制内容，促进公众健康与环境辐射安全。

三、 主要工作过程

1、工作原则与方法

- 1) 资料收集整理分析。分析了典型行业人为活动引起天然放射性增长。选取了既往资料进行了跟踪分析研究等。
- 2) 现场辐射水平检测和采样技术，开展实验室核素分析方法的相关研究。
- 3) 根据编制原则、内容、程序、技术要求编制草案稿。
- 4) 组织标准参研单位和人员进行天然放射性污染控制专题研究。
- 5) 召开多次技术交流会，充分就标准草案稿进行交流和审核。

2、主要工作过程

- 1) 2021 年 11 月 4 日，本团体标准由中华环保联合会组织立项审查通过，下达任务项目编号 ACEF-WP-003-2021，并由中华环保联合会组织在全国团体标准信息平台发布立项进入本文件编制阶段。

2) 2021 年 12 月 14 日, 起草人召集标准编制组主要起草人员和起草单位主要参与人员, 进行了第一次会议集体讨论, 形成标准草案稿目次。

3) 2022 年 1 月 26 日, 起草人召集标准编制组主要起草人员和起草单位主要参与人员, 进行了第二次会议集体讨论, 对标准草案稿内容进行细致调整。

4) 2022 年 2 月 22 日, 起草人召集标准编制组主要起草人员和起草单位主要参与人员, 进行了第三次会议集体讨论, 开展了标准草案稿内审会议, 补充了计算实例, 并根据内审意见形成了标准草案稿。

5) 2022 年 3 月 25 日, 起草人召集标准编制组主要起草人员和起草单位主要参与人员, 进行了第四次会议集体讨论, 开展了标准草案稿内审会议, 补充了辐射危害评价方法内容, 并根据意见形成了新一版的标准草案稿。

四、制定标准的原则和依据, 与现行法律、法规、标准的关系

1) 制定原则

环境保护类标准应秉承以人为本的原则。保护人体健康和改善环境质量是制定环境保护标准的主要目的, 也是制定标准的出发点和归宿, 也是研制标准贯彻的基本原则。为保障标准的科学性, 本标准严格按照 GB/T1.1-2020《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。本标准制定内容符合《放射性污染防治法》、《土壤污染防治法》和《固体废物污染环境防治法》等国家有关法律法规和产业政策的要求, 具备标准权威性和民主性。考虑到我

国《土壤污染防治法》2019年1月1日起实施，《固体废物污染环境防治法》于2020年9月1日修订完成并实施，本标准制定切实补充了多部法律法规要求的接口技术内容，具备标准的前瞻性。本标准提出规范的方法是成熟技术，技术路线明确，经济性好，切实可行。

2) 与现行标准的主要关系

本标准实验分析章节中主要引用 GB/T 11743《土壤中放射性核素的 γ 能谱分析方法》、GB/T 16141《放射性核素的 α 能谱分析方法》，属于实验室核素分析的主要成熟技术方法。

本标准个人防护和职业健康监护章节中引用了 GBZ 128《职业性外照射个人监测规范》，GBZ 129《职业性内照射个人监测规范》，GBZ 188《职业健康监护技术规范》等国家职业卫生标准，形成标准的自洽和管理闭环。

本标准初步调查、详细调查和风险评估的框架内容构建主要引用了《HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则》、HJ 25.3《建设用地土壤污染风险评估技术导则》。

本标准剂量管理限值的制定主要依据了 HJ53-2000《拟开放场址土壤中剩余放射性可接受水平规定（暂行）》。

本标准土壤采样布点原则和方法等主要依据了 HJ61《辐射环境监测技术规范》的部分章节内容。

五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

1) 第4章 总体要求的主要内容解析

4.1 节内容是天然放射性的辐射危害评价及分级控制管理的主要原则。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB18871 的要求，应以达到环境保护、职业人群和公众健康危害可接受水平为基础，且不对后代产生额外的辐射剂量负担为原则。

4.2 参考《城市放射性废物管理办法》、《伴生放射性矿辐射环境保护管理办法（试行）》等，给出土壤环境放射性限制及人群辐射剂量要求。

4.3 节主要包括天然放射性辐射危害评价及管理流程，参考 HJ25.1 的要求，管理流程应分为初步调查、详细调查和风险评估 3 个部分。

4.4 节主要包括天然放射性 NORM 控制分级管理要求。考虑到应参照 HJ53《拟开放场址土壤中剩余放射性可接受水平规定（暂行）》中对其他从事导致天然放射性水平增高活动的场址开放利用执行要求，并根据我国辐射防护标准现执行的对拟议和继续进行的辐射实践中公众中关键居民组成员年有效剂量限值不得超过 1mSv/a 的要求。本标准考虑选择的剂量约束值应能保证，土壤中天然放射性核素对公众中关键人群组所造成的有效剂量属于公众照射剂量限值的小部分，IAEA 推荐采用限值的 $1/10 \sim 1/4$ ，即 $0.1 \sim 0.25 \text{mSv/a}$ 。同理，对职业人群中关键人群组所造成的有效剂量应属于职业照射剂量限值的小部分，IAEA 推荐采用限值的 $1/10 \sim 1/4$ ，即 $2.0 \sim 6.0 \text{mSv/a}$ 。

4.4.1 考虑到 HJ25 建设用地土壤污染状况调查系列标准的具体要求，对天然放射性水平的调查阈值可设定为 0.25mSv/a ，即低于 0.25mSv/a ，可停止调查

4.4.2 经初步调查后，剂量处于 $0.25\text{mSv/a} \sim 1.0\text{mSv/a}$ 范围内，即应开展辐射危害评价。涉及职业照射，应进入详细调查阶段。涉及公众照射，附加剂量 0.25mSv/a 为管理阈值下限，超过即应采取恰当的辐射防护干预措施，并实施风险评估。

4.4.3 对于职业照射，额外附加剂量处于 $1.0\text{mSv/a} \sim 5.0\text{mSv/a}$ 范围内，应在详细调查结果基础上，进一步开展天然放射性污染的风险评估，同时，对所有可能接受职业照射的人员（包括可能涉及的公众）均应进行职业照射管理和健康监护，并参照 GBZ 128 及 GBZ 129 进行辐射个人剂量的管理，参照 GBZ 188 开展职业健康监护。

4.4.4 对于职业照射，附加剂量超过 5.0mSv/a ，即应采取恰当的辐射防护干预措施，降低职业照射水平。

2) 第 5 章 源项调查与采样分析的主要内容解析

5.1 节主要规定了初步调查及详细调查应开展的工作内容。源项调查是为掌握天然放射性对土壤污染状况而进行的调查活动，应符合 HJ25.1 提出的针对性、规范性和可操作性原则及土壤污染调查 3 阶段（初步调查、详细调查和风险评估）要求，内容还应包括但不限于：

——通过人员访谈、历史资料调研和现场踏勘等信息采集、分析过程，结合既往经验和蒙特卡洛计算等方法，初步估计土壤放射性污染状况；

——收集放射性核素种类、活度、毒性及其理化性质，摸清核素迁移、扩散规律及水文地质条件，了解土壤和水体、大气、岩圈等媒介相互影响因素，确定放射性污染区域；

——必要时应对关注区域天然放射性水平及垂直分布进行采样及分析，参考 GIS 地理信息系统给出的坐标及高程，绘制放射性污染分布图。

5.2 节主要规定了采样策略选择及采样方法，归纳了可能影响采样的因素及其排除方法。对于概率策略，在采样单元中网格的大小应考虑表面积，还受实验室分析能力和样本数量及采样成本限制。网格单元的表面积可以从几平方米到几平方公里不等，具体取决于所需调查的区域情况。对于定向策略，采样区域由基于环境数据和制图结果及调查目标约束确定。

5.3 节主要规定了现场采样及布点原则，其中，取样计划基于区域和/或初始现场放射性调查结果，及依靠经验对取样单元的主观选择。

5.4 节主要是对土壤样品的活度浓度测量要求。对于样品中含有释放 α 粒子的放射性核素，规定了标准测量方法。

3) 第 6 章 辐射危害评价的主要内容解析

6.1 镭当量是衡量人群辐射暴露的指标，1 克镭当量指这种 γ 射线源在离 1 米远处的照射量与 1 克镭产生的照射量相同。各种放射性同位素的衰变方式和射线能量均有不同，混合的各种放射性同位素具

有不同镭当量。宜将土壤中 Ra-226、Th-232、K-40 的核素比活度换算成为镭当量，换算关系描述见式（1）。

$$Ra_{eq} = C_{Ra} + 1.43C_{Th} + 0.077C_K \quad (1)$$

其中， Ra_{eq} 代表镭当量，单位：Bq/kg。 C_{Ra} 、 C_{Th} 、 C_K 分别为样品中镭 Ra-226、钍 Th-232、钾 K-40 的放射性比活度，单位：Bq/kg。

6.2 宜利用 γ 能谱测量的比活度数据换算距地面 1m 处 γ 空气吸收剂量率，见式（2）。消除宇宙射线对本底的影响。

$$D = 0.462C_{Ra} + 0.604C_{Th} + 0.0417C_K \quad (2)$$

其中， D 为空气吸收剂量率，单位为 nGy/h； C_{Ra} 、 C_{Th} 、 C_K 分别为样品中 Ra-226、Th-232、K-40 的放射性比活度，Bq/kg；0.462、0.604、0.0417 为 Ra-226、Th-232、K-40 活度剂量转换因子（ICRU，1994），单位是 $\text{nGy} \cdot \text{h}^{-1} / \text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

6.3 宜使用年有效剂量 AED 评价关键人群年有效剂量水平。年有效剂量表述见式（3）。

$$AED = D \times T \times F$$

(3)

其中，AED 为年有效剂量，单位： $\mu\text{Sv/a}$ 。 D 为空气吸收剂量率，单位为 nGy/h； T 为居留因子，室内取为 0.8，室外取为 0.2，即室外为 1760h/a； F 是剂量转换因子， $7 \times 10^{-5} \text{Sv/Gy}$ 。

6.4 应建立外照射和内照射危害评价指数。外照射和内照射危害指数表述见式（4）和（5）。

$$H_{ex} = \frac{C_{Ra}}{370} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \leq 1$$

(4)

$$(5) \quad H_m = \frac{C_{Ra}}{185} + \frac{C_{Th}}{259} + \frac{C_K}{4810} \leq 1$$

其中, H_{ex} 和 H_{in} 分别为外照射和内照射危害评价指数。 C_{Ra} 、 C_{Th} 、 C_K 分别为样品中 Ra-226、Th-232、K-40 的放射性比活度, 单位: Bq/kg。

6.5 评价关键人群辐射危害水平宜采用 γ 辐射危害指数。 γ 辐射危害指数表述见式 (6)。

$$(6) \quad I_{\gamma r} = \frac{C_{Ra}}{200}$$

其中, C_{Ra} 为样品中 Ra-226 的放射性比活度, 单位: Bq/kg。

6.6 评价关键人群辐射危害水平可采用超额终身癌症风险度 ELCR。超额终身癌症风险度的表述见式 (7)。

$$(7) \quad ELCR = AED \times DL \times RF$$

其中, ELCR 为终身癌症风险度, AED 为年有效剂量, 单位: μ Sv/a; DL 为生命持续时间 (30~70a); RF 为每接受 1Sv 的癌症风险因子, 对于公众照射, 随机性效应情况下, ICRP 建议取为 0.05, 单位: Sv^{-1}/a 。

4) 第 7 章 风险评估 (辐射危害评价) 报告框架内容解析

7.1 前言

7.2 概况（风险评估的原则和目的、评价范围、评价依据、评价方法、评价目标）。

7.3 初步调查（环境状况及水文地质情况、历史现状和污染源分析、放射性污染分布特征、初步调查的总结），其中，核素和污染物扩散迁移模型应参考 HJ25.3。

7.4 辐射危害评价及详细调查（采样策略及方案、检测与实验室分析方法、现场采样和样品分析、结果及质量保证、详细调查总结）。

7.5 人群危害指数及超额致癌风险分析（人群危害指数分析、超额致癌风险分析、风险评估总结）。

7.6 辐射防护管理及干预措施

7.7 结论和建议

5) 附录 A 辐射危害评价举例内容解析

A.1 给出了某个实际地区土壤样品实测的天然放射性水平和辐射危害相关指数计算表。

A.2 相关辐射危害评价指数的计算过程。

A.3 辐射危害评价参考值及主要参考结论。当 AED 处于 $0 \sim 0.25 \text{ mSv/a}$ 范围内，即 Ra_{eq} 处于 $0 \sim 441 \text{ Bq/Kg}$ 范围内，均无限制。对于公众照射，当 $AED > 0.25 \text{ mSv/a}$ ，即 $Ra_{eq} > 441 \text{ Bq/Kg}$ 时，应采取辐射防护干预措施；对于职业照射，当 AED 处于 $0.25 \sim 1.0 \text{ mSv/a}$ 范围内，即 Ra_{eq} 处于 $441 \sim 1764 \text{ Bq/kg}$ 范围内，应开展详细调查。对于职业照射， AED 处于 $1.0 \sim 5.0 \text{ mSv/a}$ 范围内，即 Ra_{eq} 处于 $1764 \sim 8820 \text{ Bq/Kg}$ 范围内，应进行辐射危害评价及风险评估和职业照射管理及健康监护；当

$AED > 5000.00 \mu\text{Sv/a}$, 即 $Ra_{eq} > 8820\text{Bq/kg}$ 时, 应采取辐射防护干预措施。

六、重大意见分歧的处理依据和结果

征求意见稿阶段, 尚未出现重大意见分歧。

七、采用国际标准和国外先进标准的, 说明采标程度, 以及与国内同类标准水平的对比情况

未采用国际标准。

八、作为推荐性标准或者强制性标准的建议及其理由

无。

九、强制性标准实施的风险点、风险程度、风险防控措施和预案

无。

十、实施标准的措施(政策措施/宣贯培训/试点示范/配套资金等)

无。

十一、其他应说明的事项

无。