

《基于场地重金属污染评估预警技术规范》团体标准

编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

《基于场地重金属污染评估预警技术规范》为新制定的中国土壤学会团体标准，由中国科学院南京土壤研究所提出，中国土壤学会归口，中国科学院南京土壤研究所、浙江大学、生态环境部环境规划院共同起草。标准编制按照 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》执行。

（二）制定背景与必要性

我国在产企业场地、历史遗留场地及部分农用地存在不同程度的重金属累积和潜在环境风险。现行国家和行业标准已对农用地、建设用地土壤污染风险筛选、风险管控、污染状况调查和监测作出规定，但对于非应急状态下场地重金属污染的超阈概率预测、空间风险分区、分级预警、响应建议和成果动态更新，尚缺乏统一、系统且可追溯的技术规范。

本标准拟建立“资料与数据获取—调查监测—质量控制—阈值判定—概率预测—分级预警—成果归档”的完整技术链条，将风险识别关口前移，为管理部门和技术单位开展场地重金属污染日常评估、重点单元筛选、补充调查安排和风险管控提供技术依据。

（三）协作单位、起草组成员及主要工作

起草单位为中国科学院南京土壤研究所、浙江大学和生态环境部

环境规划院。主要起草人员为卞永荣、江杨昭、杨思婷、周炼清、李柱、刘瑞平、陈令坤。起草组共同承担标准需求分析、框架设计、资料调研、调查监测要求梳理、数据与指标体系设计、模型构建与验证要求研究、预警分级和响应措施设计、成果归档要求制定、专家意见处理及标准文本统稿等工作。

（四）主要工作过程

- 1.前期调研与框架设计。起草组围绕场地重金属污染调查、监测、风险评估、空间预测和预警管理需求，梳理现行国家标准、行业标准和相关技术方法，分析现有工作中技术口径不统一、风险预警流程不完整和成果难以动态更新等问题，形成标准总体框架。
- 2.标准草案编制。按照标准化文件编写要求，形成包括范围、规范性引用文件、术语和定义、流程组成与技术要求、数据与指标体系、调查监测与质量控制、污染评估与风险预警、成果与归档等内容的标准草案。
- 3.立项评估。2026 年 4 月，中国土壤学会组织开展立项评估。现有 5 份专家意见表均明确同意立项，表决同意率为 100%。专家意见主要涉及标准管理定位、与现行标准的衔接、背景值和管控阈值区分、技术流程、调查采样、全过程质量控制、模型验证、不确定性分析、预警指标赋分及成果应用等方面。
- 4.根据专家意见修改完善。起草组逐条研究专家意见，重点完善标准适用范围和非应急边界，新增调查监测相关规范性引用文件，增加技术路线图，压缩与既有标准重复的采样条款，明确随机森林模型、空间分组 5 折交叉验证和模型性能评价指标，强化风险图件、高风险单元清单、成果格式、版本管理和可追溯要求。

- 5.形成修改稿及配套材料。起草组完成专家意见汇总和采纳说明，在保持总体技术路线不变的基础上，对标准结构、术语、引用文件、技术参数、调查监测和编辑格式进行调整，形成根据专家意见修改的标准文本及本编制说明。

二、标准编制原则和确定标准主要内容的论据

（一）标准编制原则

1. 协调性原则。与 GB 15618、GB 36600 及 HJ 25.1、HJ 25.2、HJ/T 166、HJ 1209 等现行标准协调衔接，优先引用已有成熟技术要求，避免重复规定和技术冲突。
2. 科学性原则。以场地监测数据、环境协变量、背景值或管控阈值为基础，以超阈事件和超阈概率为核心，采用空间分组验证降低空间自相关造成的性能高估。
3. 可操作性原则。明确评价单元、数据字段、阈值情景、模型版本、预警等级、触发条款、响应措施、成果清单和归档要求，使技术单位能够据此组织实施。
4. 前瞻性原则。引入数据驱动预测、空间交叉验证和可计算成果格式，为多源数据融合、智能化预测和管理信息平台对接预留条件。
5. 可追溯性原则。要求原始监测数据、质量控制记录、阈值口径、模型参数、验证结果、图件和清单统一归档并实行版本化管理。

（二）标准主要内容及确定依据

1. 适用范围与技术边界

标准适用于疑似受重金属污染的在产企业场地、历史遗留场地和农田等对象的环境管理，主要服务于非应急状态下土壤重金属污染的

长期评估、预测预警和风险管控。不适用于放射性污染和突发环境事件应急响应，不涉及紧急处置、人员疏散等应急管理要求。该边界依据专家关于“长期管控与应急处置概念应区分”的意见确定。

2. 技术流程与评价单元

标准按照资料与数据获取、现场调查与采样检测、数据质量控制与阈值判定、超阈概率预测、风险分级预警、成果输出与更新的顺序组织。评价单元可采用地块、栅格或功能分区，监测点位、场地边界和环境协变量图层应使用统一坐标参考系统。该规定用于保证多源数据时空匹配，并使风险分区成果能够对应实际管理单元。

3. 数据与阈值体系

监测数据至少包括样点标识、坐标与坐标系、采样深度、采样时间、检测项目、检测结果、单位、检测方法和检出限。环境协变量可包括地形地貌、土壤理化性质、气候、土地利用、人口与产业活动强度以及距道路、河流和工业源等空间因子。标准区分背景值和管控阈值的管理含义：背景值主要反映自然基底和富集程度，风险筛选值、风险管控值或经论证的管理阈值用于风险管理判定。

4. 调查监测与质量控制

点位布设和采样方案编制执行 HJ 25.1，现场采样、样品保存和流转执行 HJ 25.2，样品采集、制备及质量保证与控制执行 HJ/T 166。标准不重复规定已有标准中成熟的布点密度、采样工具和样品保存细节，而是突出资料分析、特征污染物识别、现场快速筛查适用边界、检测数据核查和完整质量控制记录要求。

5. 超阈概率预测模型与验证

标准以评价单元为载体，将监测结果转换为 Exceed (0/1) 超阈标

签，并与环境协变量统一匹配。现稿采用随机森林模型输出各评价单元的超阈概率 $P(\text{Exceed})$ 。模型训练和验证采用空间分组的 5 折交叉验证，防止空间邻近样点同时进入训练集和验证集造成性能虚高。性能评价指标包括 AUC、F1 分数、总体准确率和 Brier 分数，其中 AUC 不低于 0.75 且 Brier 分数不高于 0.20 作为现稿规定的模型性能合格条件。

6. 预警指标、分级和响应

预警指标以超阈概率为核心，同时考虑实测超阈倍数、风险空间范围、多金属叠加和受体敏感性。综合指数采用 $W=\sum(W_i\times S_i)$ 计算，其中超阈概率、超阈程度、空间范围、多金属叠加和受体敏感性的建议权重分别为 0.40、0.25、0.15、0.10 和 0.10。实测超阈倍数采用 $ER=C/T$ 计算，C 为实测浓度，T 为选定阈值。权重和分档规则可结合管理需求调整，但同一项目、同一批成果中应固定并在报告中说明。

7. 成果输出、归档和更新

成果由评估预警报告、风险分区图、高风险单元清单和基础数据组成。空间图件宜同时提供可视化格式和可计算格式，栅格成果可采用 GeoTIFF，矢量成果可采用 SHP 或 GPKG，清单和表格宜采用 CSV 或 XLSX。成果应记录评价单元、金属项目、阈值情景、 $P(\text{Exceed})$ 、ER、预警等级、触发条款、模型版本、数据版本和生成日期。

表 1 主要技术指标、参数及确定依据

技术要素	主要指标或参数	确定依据及说明
模型输出	超阈概率 $P(\text{Exceed})$ ，取值 0~1	以超阈事件为核心，实现由确定性超标判断向概率化、空间化风险提示扩展。
模型验证	空间分组 5 折交叉验证；AUC、F1、总体准确率、Brier 分数	降低空间自相关造成的性能高估，并同时评价区分能力、分类效果和概率校准。

技术要素	主要指标或参数	确定依据及说明
模型合格条件	$AUC \geq 0.75$, Brier 分数 ≤ 0.20	结合场地数据可获得性和预警模型可信度要求设置；模型版本和验证结果应归档。
综合指数	$W = \sum (W_i \times S_i)$	将概率、超阈程度、空间范围、多金属叠加和受体敏感性统一到综合评价框架。
建议权重	0.40、0.25、0.15、0.10、0.10	突出超阈概率和实测超阈程度，同时保留空间、复合污染和敏感受体影响。
超阈倍数	$ER = C/T$	统一表达实测浓度相对背景值或管控阈值的超出程度。
预警概率阈值	红色 ≥ 0.80 ；橙色 $0.60 \sim < 0.80$ ；黄色 $0.30 \sim < 0.60$ ；蓝色 < 0.30	作为推荐默认值，可依据地方标准、专家论证或验证结果调整并在项目中固定。
成果格式	GeoTIFF、SHP/GPKG、CSV/XLSX 等	兼顾成果阅读、空间计算、平台接入、复核和动态更新需求。

（三）评审稿与根据专家意见形成的修改稿主要变化

本项目属于标准制定项目，不涉及新、旧标准水平对比。为说明立项评估后的修改情况，将专家评审稿与根据专家意见形成的修改稿主要变化归纳如下。

表 2 专家评审稿与修改稿主要变化

修改事项	专家评审稿	修改稿
范围和管理定位	概括适用对象并笼统排除应急响应。	补充制定背景和现实需求，明确仅用于非应急状态下长期评估、预警和管控。
规范性引用文件	已引用风险筛选、环境监测和企业自行监测标准。	新增 HJ 25.1 和 HJ 25.2，强化与建设用地调查、采样和监测导则衔接。
技术路线	以文字说明主要工作环节。	增加技术路线图，明确数据获取、阈值判定、模型预测、分级预警和成果输出关系。

修改事项	专家评审稿	修改稿
调查采样	对布点、采样深度、样品保存和质量控制作较详细规定。	压缩与现行标准重复条款，改为优先执行 HJ 25.1、HJ 25.2 和 HJ/T 166。
模型验证	提出空间分组验证原则，量化要求较少。	明确随机森林、空间分组 5 折交叉验证、AUC、F1、准确率、Brier 分数及部分合格条件。
预警输出	规定风险分区和清单的基本要求。	细化清单字段、触发条款、模型和数据版本以及空间图件、表格的交付格式。
文本结构	部分条款较长，与既有技术标准存在重复。	进一步凝练正文，突出概率预测、分级预警、动态更新和可追溯等特色内容。

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证及预期效果

（一）主要验证与分析

- 1.标准协调性验证。起草组对 GB 15618、GB 36600、HJ 25.1、HJ 25.2、HJ/T 166、HJ 1209 等文件的适用范围和技术要求进行对照，将已有成熟的调查监测和质量控制要求通过规范性引用纳入，避免与现行标准重复或冲突。
- 2.技术链条完整性分析。按照输入、处理和输出的逻辑，对评价对象、数据字段、阈值情景、评价单元、模型训练、空间验证、预警触发、响应建议、图件清单和归档更新进行贯通检查，保证预警结论能够追溯到原始数据、阈值口径和模型版本。
- 3.模型验证机制设计。标准规定采用空间分组 5 折交叉验证及 AUC、F1、总体准确率和 Brier 分数进行评价，并设置现稿的合格判定条件，主要用于约束模型区分能力和概率校准质量。具体项目仍应

根据实际样本量、类别平衡、协变量质量和空间代表性开展独立验证。

- 4.专家评估验证。现有 5 份立项评估专家意见均同意立项。专家对标准必要性、总体框架和技术路线给予肯定，并对标准边界、阈值区分、流程图、质量控制、模型验证、不确定性、成果清单等提出完善意见，起草组已逐项研究处理。

本标准属于技术规范，标准编制阶段主要完成方法体系、参数规则和验证机制论证，尚未形成覆盖多类型场地、可用于统计推断的大规模统一实地验证数据。标准实施后宜选择在产企业场地、历史遗留场地和农用地等不同对象开展试点，根据试点结果复核模型性能阈值、预警分级阈值和综合指数分档规则。

（二）技术经济论证

本标准优先利用依法调查监测或企业自行监测形成的数据，并通过环境协变量和空间模型开展风险预测，可减少无差别、重复性加密调查，将补充监测和管理资源优先配置到高风险单元。通过引用现行调查采样和质量控制标准，可降低不同技术单位重复制定方案、解释技术口径和返工修改的成本。

标准统一数据字段、图件格式、预警清单和版本管理要求，有利于成果在管理部门、技术机构和信息平台之间传递、复核和更新，减少因数据结构不一致、阈值口径不明和模型版本缺失造成的沟通成本。标准实施主要依托现有监测、实验室分析和地理信息技术条件，不要求普遍新增专用大型设备，具有较好的实施基础。

（三）预期经济、社会和环境效果

- 1.经济效果。通过风险分区和优先级排序，提高调查监测、风险管控

和修复资金的使用效率，降低重复调查、低效布点和成果返工的可能性。

- 2.社会效果。形成统一、透明和可追溯的预警技术口径，提升场地重金属污染风险沟通和管理决策的规范化水平。
- 3.环境效果。推动污染风险早识别、早提示和重点单元优先核查，促进污染扩散防范、敏感受体保护和土地安全利用。
- 4.管理效果。为风险分区图、高风险单元清单和动态更新成果接入土壤环境管理及企业自行监测平台提供规范化数据基础。

四、标准涉及的相关知识产权说明

经起草组现阶段核查，本标准未发现需要特别声明的专利事项。标准文本已按照 GB/T 1.1—2020 设置专利提示条款，文件发布机构不承担识别专利的责任。后续在征求意见、技术审查和实施过程中如发现涉及专利，应按照团体标准和知识产权管理的有关规定处理。

标准涉及的随机森林、空间交叉验证、地理信息处理和数据格式均为通用技术或通用方法。具体项目使用软件、算法实现、数据产品和第三方模型时，应遵守相应的软件许可、数据授权和知识产权要求。企业工艺、监测数据及敏感地理信息的使用和共享，应取得合法授权并落实保密、脱敏和安全管理措施。

五、采用国际标准的程度与水平及与现行法律法规、强制性标准的关系

（一）采用国际标准的程度与水平

本标准未等同采用或修改采用现有国际标准，属于结合我国场地土壤污染管理制度、监测标准体系和数据条件自主制定的团体标准。

标准在技术理念上吸收了风险概率表达、数据驱动预测、空间分组验证、模型校准和可复现数据管理等通行做法，并与我国农用地、建设用地风险筛选和污染状况调查制度相结合，具有较强的管理适用性。

（二）与现行法律法规和强制性标准的关系

本标准与我国土壤污染防治、标准化和环境保护有关法律法规的管理要求相协调。GB 15618—2018 用于提供农用地土壤污染风险筛选和风险管控依据，GB 36600—2018 用于提供建设用地土壤污染风险筛选和风险管控依据；HJ 25.1、HJ 25.2 用于规范建设用地污染状况调查、采样和监测；HJ/T 166 用于规范土壤环境监测和质量控制；HJ 1209 用于衔接工业企业土壤和地下水自行监测。

本标准重点解决已有调查监测和阈值判定基础上的概率预测、空间分区、分级预警、清单输出和动态更新问题，不改变现行国家标准规定的风险筛选值和风险管控值，不替代依法开展的土壤污染状况调查、风险评估、风险管控、修复和效果评估程序。当本标准与现行法律法规、强制性标准或行政管理要求不一致时，应以现行有效的法律法规、强制性标准和行政管理要求为准。

六、重大意见分歧的处理经过和依据

（一）专家意见总体情况

2026年4月立项评估期间，现有5份专家意见表均同意标准立项，未形成反对立项或否定总体技术路线的重大意见分歧。经归并整理，共形成21条具体修改意见，另有1份意见表为“同意立项、无具体修改意见”。起草组逐条分析并形成处理记录，其中13条采纳、8条部分采纳。

表 3 专家意见处理概况

处理类别	数量	主要处理情况
采纳	13 条	完善适用范围和应急边界；增加流程图；补充 HJ 25.1、HJ 25.2；压缩重复采样条款；修改术语表述；强化成果格式和管理要求等。
部分采纳	8 条	已吸收核心要求，但数据结构附录、Si 统一赋分、具体平台接口、完整不确定性量化及强制采用单一综合方法等未全部按建议形式写入。
无具体修改意见	1 份	专家同意立项，无需进行针对性文本修改。

（二）部分采纳意见的处理依据

- 1.关于数据结构表和资料清单附录。标准正文已明确监测数据、环境协变量和必要字段，并细化资料收集内容。考虑不同类型场地和管理部门的数据基础存在差异，现阶段暂未固化为唯一附录模板，后续可通过实施指南或示范表单补充。
- 2.关于综合指数 Si 的统一赋分。标准已规定采用分档评分法并要求分档阈值、评分规则和权重在同一项目中固定、归档。考虑不同用地类型、阈值体系和地方管理目标存在差异，现阶段未规定全国统一的唯一分值。
- 3.关于不确定性量化和信息平台接口。标准已要求进行概率合理性检查、边界区域不确定性提示，并统一图件、清单和字段格式。考虑不同平台接口、数据权限和管理流程尚不一致，未规定具体系统接口和统一置信区间计算方法。
- 4.关于综合评价方式唯一化。为兼顾单金属监管、多金属综合研判和不同管理场景，标准允许取最大风险、加权合成或分项展示，但要求在报告中说明综合规则并保留单金属结果，保证结果可追溯和可比较。

上述意见均属于技术细化和实施形式方面的不同建议，不影响标准制定目标、总体技术路线和核心制度安排，未形成需要提交更高层级协调处理的重大分歧。

七、其他应予说明的事项

（一）关于起草人员调整的说明

在标准草案编制后期、征求意见稿形成前的文本规范化完善阶段，为进一步提高标准文本的规范性和一致性，起草组按照团体标准编写要求，对标准的章节结构、条款编号、图表格式、公式表达、规范性引用文件、术语表述、标点符号及版式等内容进行了系统校核和编辑性修改。陈令坤同志实际参与并承担了上述文本规范化、格式调整及校核工作。经起草组研究，将其补充列为本文件主要起草人。该阶段所作修改均属于编辑性、规范性完善，不涉及标准适用范围、技术路线、核心技术指标和主要技术内容的实质性变更。