

《基于厘米级定位的土壤重金属 X 射线荧光原位监测规范》

编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

《基于厘米级定位的土壤重金属 X 射线荧光原位监测规范》为中国土壤学会团体标准制定项目，由中国科学院南京土壤研究所牵头，北京市农林科学院智能装备技术研究中心、江苏萤火虫环境有限公司、苏州佳谱科技有限公司、生态环境部环境规划院、浙江大学等单位共同参与编制。标准制定工作以工业场地、矿区周边、城市绿地等区域土壤重金属污染精准监测、高密度空间分布调查和长期动态评估的现实需求为导向，旨在形成适用于陆域表层土壤（0-2 cm）中铜（Cu）、锌（Zn）、铅（Pb）、镍（Ni）、砷（As）等常见重金属元素的原位、非破坏性监测及长期动态变化评估的技术规范。

我国土壤重金属污染形势严峻，工业场地、矿区周边及城市绿地等区域土壤重金属污染问题突出。传统的土壤重金属监测方法以实验室分析为主，样品需经采集、保存、运输、前处理等环节后方可检测，过程烦琐、周期长、成本高，且难以实现对污染空间分布的精细化刻画。便携式 X 射线荧光光谱技术具有操作简便、无需化学试剂、可原位检测、非破坏性、多元素同时分析等优点，可在现场快速实现土壤重金属的筛查与定量分析。然而，当前便携式 XRF 在现场应用中面临空间定位精度不足、复测点位一致性差、长期监测数据可比性难以保障等问题，制约了该技术在土壤重金属高精度时空监测中的规范化应用。厘米级精确定位技术（如实时动态差分 RTK）的成熟，为 XRF 原位监测提供了高精度的空间坐标基准，使得监测点位的精确定位、重复复测和长期动态追踪成为可能。

本标准的提出，基于国家重点研发计划课题场地土壤重金属现场智能检测设备集成与实时评估预警系统研发（2022YFC3700805）、土壤光谱采集处理规范制订及剖面土壤光谱库建设（2025FY101201）、土壤与农业可持续发展全国重点实验室部署项目（SKLSSA2508）等相关科研项目的基础，以及起草组在土壤重金属 XRF 现场检测技术、厘米级定位技术、土壤污染空间制图与评估等方面的长期积累。标准拟通过统一系统组成与技术要求、现场原位监测流程、数据处理与成果表达、质量保证与质量控制以及成果报告编制等内容，为基于厘米级定位的土壤重金属 X 射线荧光原位监测提供可复核的技术依据。

根据中国土壤学会 2026 年 4 月 20 日发布的《关于〈基于场地重金属污染评估预警技术规范〉等 6 项团体标准立项的公告》，《基于厘米级定位的土壤重金属 X 射线荧光原位监测规范》团体标准符合立项要求，准予立项。

（二）协作单位

本标准编制形成了土壤环境监测、精密定位技术、XRF 光谱分析、数据集成与空间制图、环境规划与管理等多学科协同机制。中国科学院南京土壤研究所负责标准总体设计、材料统筹、文本起草和意见汇总；北京市农林科学院智能装备技术研究中心负责厘米级精确定位模块技术指标论证、数据集成与处理单元方案设计以及智能装备相关技术支撑；江苏萤火虫环境有限公司负责 XRF 分析模块技术指标论证、现场应用场景验证和技术推广可操作性讨论；苏州佳谱科技有限公司负责 XRF 检测仪性能指标验证、校准方法论证和仪器技术参数确认；生态环境部环境规划院参与土壤环境质量标准衔接、风险筛选值应用和成果表达管理衔接论证；浙江大学参与空间插值方法、数据处理算法和成果图件编制规范的技术论证。

（三）主要工作过程

前期研究与资料收集阶段。起草组在既有土壤重金属 XRF 现场检测、厘米级精确定位、土壤环境监测和空间插值制图等研究基础上，收集整理国内外便携式 XRF 土壤重金属检测技术标准、GNSS 高精度定位技术规范、土壤环境监测技术规范、土壤环境质量风险评估标准等资料，梳理国家标准、行业标准和团体标准中与 XRF 分析仪技术要求、现场检测方法、土壤环境监测布点和空间数据插值有关的技术要求。

标准框架设计阶段。起草组围绕“原位监测、厘米级定位、高密度空间分布、长期动态评估”构建标准框架，确定范围、规范性引用文件、术语和定义、系统组成与技术要求、现场原位监测、数据处理与成果表达、质量保证与质量控制、成果报告编制等章节。

系统组成与技术指标论证阶段。起草组依据 XRF 光谱分析原理和厘米级定位技术现状，将系统组成明确为 XRF 分析模块、厘米级精确定位模块和数据集成与处理单元三大核心模块。XRF 分析模块重点论证了检测限、重复性、能量分辨率、探测器类型和校准方式等技术指标；厘米级精确定位模块重点论证了水平定位精度($\leq \pm 2\text{ cm}$)、高程定位精度($\leq \pm 5\text{ cm}$)、数据更新频率($\geq 1\text{ Hz}$)和 PDOP 值阈值(≤ 6)等指标；数据集成与处理单元重点论证了数据采集绑定、时间戳标记、空间可视化与趋势分析等功能要求。

现场监测流程与质量控制方案论证阶段。起草组依据土壤环境监测技术规范和 XRF 现场检测实践经验，设计了包含准备阶段、现场监测步骤、长期动态监测和现场安全与二次污染防治的完整现场监测流程，并配套建立了仪器校准、现场质控和数据审核三级质量控制体系。

本起草与内部校核阶段。起草组对标准草案进行系统梳理和完善，统一格式体例，规范术语表述，补充数据处理与成果表达、成果报告编制等内容，确保标准文本结构完整、逻辑清晰、表述规范。

征求意见和文本修改阶段。标准征求意见稿形成后，起草组组织专家征求意见，对反馈意见逐条分析、归并和处理。

（四）起草组成员及主要工作

中国科学院南京土壤研究所李柱全面负责标准总体设计、技术路线把关、组织协调、文本统筹和关键技术内容审定；吴龙华参与标准框架设计、指标体系论证与关键技术内容审定；田康和胡文友参与标准编制相关工作；卞永荣参与土壤环境质量标准衔接、风险筛选值应用及成果表达管理衔接论证。江苏萤火虫环境有限公司王文勇负责 XRF 分析模块技术指标论证、现场应用场景验证；北京市农林科学院智能装备技术研究中心李奥伟、郇允兵负责厘米级精确定位模块技术指标论证、数据集成与处理单元方案设计，参与定位技术指标论证并提供智能装备技术支撑。苏州佳谱科技有限公司宋础、王晶晶负责 XRF 检测仪性能指标验证、校准方法论证及仪器技术参数确认。浙江大学周炼清参与空间插值方法、数据处理算法及成果图件编制规范论证。生态环境部环境规划院刘瑞平、宋志晓参与标准框架设计、资料收集与标准文本起草，参与土壤环境质量标准衔接和风险判定论证。

（五）征求专家意见情况

根据《征求意见汇总表》，本标准共向 10 家单位征求意见，实际反馈意见的单位数为 7 家，其中有建议或意见 7 家、无意见 0 家。共收集反馈意见 32 项，经起草组逐条分析处理，采纳 25 项、部分采纳 4 项、未采纳 3 项。提出意见的单位包括中国地质科学院岩溶地质研究所、生态环境部南京环境科学研究所、南京信息工程大学、生态环境部环境规划院、苏州佳谱科技有限公司、河海大学、中国科学院南京土壤研究所。

专家意见的处理重点包括：一是按 GB/T 1.1—2020 规范标准格式、表格格式和附录编排；二是统一术语定义；三是规范系统组成与技术要求中各模块的功能要求和技术指标表述；四是完善现场原位监测流程，细化准备阶段、现场监测步骤和长期动态监测的操作要求；五是补充质量保证与质量控制，变化判别的具体要求；六是规范数据处理与成果表达。

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

规范性原则。本标准按照 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》编写，标准结构、术语表述、规范性引用文件、表格、附录和条款层级均按照团体标准文件要求进行规范。

技术先进原则。标准充分吸收厘米级精确定位技术、XRF 光谱分析技术和数据集成技术的最新发展成果，将 RTK/PPK 高精度定位、硅漂移探测器（SDD）、多星系统 GNSS 接收机等先进技术纳入系统组成与技术指标要求，体现标准的技术先进性和前瞻性。

原位非破坏原则。标准强调土壤重金属监测的原位性和非破坏性，不要求样品采集和实验室前处理，仅去除表面枯枝落叶等覆盖物，不得翻动土壤，保持土壤原始状态，最大限度减少监测过程对土壤的扰动。

高精度空间定位原则。标准将厘米级精确定位作为核心技术特征，要求监测点位水平定位误差 $\leq \pm 2\text{ cm}$ ，通过统一坐标系统和精确定位实现监测点位的可追溯性与复测一致性，支撑长期动态监测和时空变化分析。

方法可复核原则。标准规定的系统组成、监测流程、数据处理、质量控制和成果编制要求均形成可记录、可追溯、可重复操作的技术流程，确保不同监测主体、不同监测时段获得的结果具有可比性和可复核性。

协调衔接原则。标准与 GB 15618—2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》、GB 36600—2018《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》、HJ 680—2013《土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法》、HJ 1425—2025《土壤和沉积物 11 种元素的测定 能量色散 X 射线荧光光谱法》、GB/T 39267—2020《北斗卫星导航系统测量型 GNSS 接收机通用规范》、HJ 166《土壤环境监测技术规范》等现行标准衔接，不替代具体检测方法标准、污染风险管控标准或其他专项监测标准。

（二）标准主要内容及确定依据

主要内容	技术要求或设置	确定依据
范围 and 对象	标准适用于工业场地、矿区周边、城市绿地等陆域表层土壤（0-2 cm）中 Cu、Zn、Pb、Ni、As 等常见重金属元素的原位、非破坏性、高密度空间分布监测及长期动态变化评估。不适用于水体沉积物、土层大于 2 cm 的土壤或极端含水量、高有机质含量等显著干扰 XRF 信号的特殊土壤类型。	依据 XRF 技术适用条件和厘米级定位技术应用场景,明确标准适用范围和边界,避免与实验室检测标准、沉积物监测标准或其他专项监测标准混同。
术语和定义	定义原位监测、厘米级精确定位、重金属指纹图、时间序列可比性、监测点位等术语。	参考 XRF 光谱分析、GNSS 高精度定位和土壤环境监测相关术语,结合本标准技术特点进行定义。

主要内容	技术要求或设置	确定依据
系统组成与 技术要求	规定 XRF 分析模块、厘米级精确定位模块和数据集成与处理单元三大核心模块的功能要求和技术指标。	依据 XRF 光谱分析原理、RTK 高精度定位技术和数据集成技术现状，确保系统具备原位检测、高精度定位和数据协同处理能力。
现场原位监测	规定准备阶段、现场监测步骤、长期动态监测和现场安全与二次污染防治的具体要求。	依据 HJ 166 和 XRF 现场检测实践经验，确保监测流程规范、操作可执行、长期监测可复现。
数据处理与 成果表达	规定数据预处理、空间插值与制图、变化分析的具体方法。	依据空间统计学方法和土壤环境质量评价要求，确保数据处理规范、成果表达清晰。
质量保证与 质量控制	规定仪器校准、现场质控和数据审核的具体要求。	依据 HJ 1425 和实验室质量管理要求，确保监测数据准确可靠。
成果报告编制	规定成果报告应包含的内容框架。	依据土壤环境监测报告编制惯例和管理需求，确保成果报告完整规范。

（三）技术指标、参数、公式和检验规则的论据

本标准属于土壤重金属原位监测技术规范，核心技术参数不是产品性能阈值，而是系统组成、定位精度、检测性能、监测流程、数据处理和质量控制等评价过程参数。

XRF 分析模块技术指标：检测限（LOD）应满足 HJ 1425 中对目标元素的现场筛查要求；重复性要求同一均匀样品连续测量 10 次，相对标准偏差（RSD）≤15%；能量分辨率要求对于⁵⁵Fe 源的 Mn Kα 线，FWHM ≤180 eV；探测器类型推荐使用硅漂移探测器（SDD）；校准方式应支持基体匹配校准或经验系数法校准，并定期使用标准土壤样品进行性能验证。上述指标依据便携式 XRF 检测仪技术现状和土壤重金属现场检测实际需求确定。

厘米级精确定位模块技术指标：水平定位精度要求静态 RTK 模式下平面定位误差≤±2 cm（RMS），高程定位精度≤±5 cm（RMS），数据更新频率≥1 Hz，PDOP 值阈值≤6（理想情况下≤4），定位初始化时间冷启动≤10 min、热启动≤1 min。定位设备性能应满足 GB/T

39267—2020 的相关规定。上述指标依据 RTK 高精度定位技术现状和监测点位复测精度需求确定。

数据处理与成果表达：数据预处理要求剔除 PDOP > 6 或定位模式为“Float”的异常记录；空间插值可采用克里金（Kriging）、反距离权重（IDW）等方法；变化分析应计算各点位重金属浓度的时间变化量与变化率，统计区域均值、最大值、超标率等指标的演变趋势。超标判定与风险提示应依据 GB 15618—2018（农用地）或 GB 36600—2018（建设用地）规定的筛选值和管制值进行标注。

质量保证与质量控制：每日使用至少一个标准土壤样品（如 NIST SRM 2710a）进行性能验证；每 10 个点插入一个重复点进行平行测定，RSD ≤ 20%；设置 1-2 个固定质控点用于跨期监测一致性检验；所有数据应经过三级审核：现场操作员初审、技术主管终审、项目负责人复核。上述要求依据 XRF 现场检测质量管理和土壤环境监测质量控制实践经验确定。

本标准为首次制定项目，不存在新、旧标准水平对比问题。与现行便携式 XRF 检测仪技术要求和现场应用方法标准、土壤环境监测技术规范、农用地和建设用地土壤污染风险管控标准相比，本标准的创新性和适用性主要体现在：以厘米级精确定位为核心技术特征，实现监测点位高精度空间定位和长期复测一致性；以原位、非破坏性监测为基本要求，最大限度保持土壤原始状态；以高密度空间分布监测和长期动态变化评估为目标，支撑土壤重金属污染的精细化调查和趋势分析；以系统组成、监测流程、数据处理、质量控制和成果编制的完整技术链条，为基于厘米级定位的土壤重金属 XRF 原位监测提供可复核的技术依据。

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告、技术经济论证和预期经济效果

（一）主要试验（或验证）的分析

本标准编制依托既有土壤重金属 XRF 现场检测、厘米级精确定位、土壤污染空间调查与评估相关研究基础，重点对基于厘米级定位的土壤重金属 XRF 原位监测技术流程进行了方法性验证。验证重点在于检验系统组成、现场监测、数据处理、质量控制和成果表达之间的逻辑衔接和可操作性。

前期研究和过程材料表明，基于厘米级定位的土壤重金属 XRF 原位监测需要同时保证空间定位精度、XRF 检测精度和数据时空可比性。若仅依赖 XRF 检测而不对监测点位进行厘米级精确定位，则不同监测时段的数据难以实现空间位置的严格对应，长期动态变化分析缺乏可靠的数据基础；若仅关注定位精度而忽视 XRF 检测的基体效应干扰和现场环境条件影响，则检测数据的准确性和可靠性难以保证。因此，标准将厘米级精确定位模块、XRF 分析模块和数据集成与处理单元有机结合，通过统一坐标系统、实时数据绑定、严格质量控制和标准化成果表达，能够更全面地服务土壤重金属高精度监测和长期动态评估。

在监测流程验证方面，标准采用点位预设与导航复现、现场定位获取、XRF 原位检测、数据自动绑定、空间插值制图和变化分析的完整技术流程。该流程可兼顾工业场地、矿区周边、城市绿地等不同应用场景的监测需求，并可根据污染复杂程度调整监测单元大小（推荐 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 至 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ ）和布点密度。

在质量控制验证方面，标准建立的标准样品验证、重复点平行测定、固定质控点跨期检验和数据三级审核体系，能够在保证单次监测数据质量的同时，保障不同监测时段数据的可比性。

（二）综述报告

国内现行标准中，GB 15618—2018 和 GB 36600—2018 分别规定了农用地和建设用地土壤污染风险筛选值和管制值；HJ 680—2013 和 HJ 1425—2025 分别规定了土壤重金属的实验室检测方法；GB/T 39267—2020 规定了北斗卫星导航系统测量型 GNSS 接收机的通用规范；HJ 166 规定了土壤环境监测的技术流程。此外，T/ACEF 232-2025《土壤重金属便携式 XRF 检测仪技术要求和现场应用方法》规定了便携式 XRF 检测仪的组成结构、技术要求、性能指标和现场应用方法。上述标准为 XRF 仪器性能、土壤环境质量评价和土壤环境监测提供了技术支撑，但多数标准侧重仪器技术要求、实验室检测方法或环境质量判定，尚不能完全替代基于厘米级定位的土壤重金属 XRF 原位监测技术规范。

国际相关标准方面，美国环境保护署（USEPA）发布了针对便携式 XRF 现场检测的方法标准（如 Method 6200），国际标准化组织（ISO）也发布了 XRF 分析相关标准。由于不同国家和地区在土壤类型、环境质量标准、监测目标和精度要求方面差异较大，国际标准不能直接作为我国土壤重金属原位监测的技术依据。本标准充分吸收国际 XRF 现场检测方法的基本思路，同时以我国土壤环境质量标准、GNSS 定位标准和土壤环境监测技术规范为依据进行本土化设计。

（三）技术经济论证

从技术可行性看，本标准所列 XRF 分析模块、厘米级精确定位模块和数据集成与处理单元的主要技术指标均有成熟技术和产品支撑。XRF 分析模块的检测限、重复性、能量分辨率等指标基于当前主流便携式 XRF 检测仪性能确定；厘米级精确定位模块的水平定位精度 $\leq \pm 2\text{ cm}$ 、高程定位精度 $\leq 5\text{ cm}$ 等指标基于当前 RTK 技术成熟度确定；数据集成与处理单元的数据采集、绑定、存储和可视化功能基于当前移动计算和 GIS 技术实现。标准规定的各项操作流程均具备可操作基础，适合环境监测机构、科研院所、第三方检测机构和场地调查单位共同实施。

从经济合理性看，标准通过厘米级精确定位实现监测点位的精确复测，避免了因定位不准导致的重复布点和无效监测，提高了长期监测的数据利用效率。标准推荐的单次 XRF 测

量时间 ≤ 120 s, 相比传统实验室分析方法(需经采样、保存、运输、前处理和检测等环节), 大幅缩短了检测周期, 降低了人力和时间成本。标准通过设置基础监测指标和可选扩展指标的分层体系, 避免所有监测项目无差别开展高成本全项检测, 适合监测点位多、数据维度高、长期跟踪监测需要控制成本的应用场景。

从管理效益看, 本标准有助于统一不同监测主体、不同监测时段之间的技术口径, 提高监测数据在污染状况调查、修复效果评估、长期趋势分析和风险管控中的可比性和可用性, 减少因方法不一致导致的重复监测和数据不可比问题。标准实施后可为工业场地、矿区周边、城市绿地等区域土壤重金属的高精度监测、高密度空间调查和长期动态评估提供统一技术框架。

(四) 预期经济效果

本标准属于监测技术规范, 其预期效果主要体现在监测流程规范化、空间定位精准化、数据质量可控化、成果表达标准化和长期监测可比性增强方面。通过统一技术口径, 可提高土壤重金属 XRF 原位监测结果在污染状况调查、修复效果评估、长期趋势分析和环境管理决策中的可比性和应用价值, 减少因监测方法不一致导致的重复监测、数据矛盾和决策偏差。

标准实施后, 预期可为工业场地污染调查、矿区周边土壤环境监测、城市绿地土壤质量评估等场景提供高效、精准、可复现的原位监测技术支撑, 间接促进土壤污染精准识别、修复效果科学评估和环境管理效率提升。由于本标准主要规定监测方法和技术流程, 不直接规定污染治理措施和修复工程参数, 因此不对污染治理效益或环境改善效果作超出监测标准功能边界的定量承诺。

四、标准涉及的相关知识产权说明

经起草组核查, 现阶段未识别出本标准实施所必须使用的专利技术或其他专有技术。本标准规定的是基于厘米级定位的土壤重金属 X 射线荧光原位监测的通用技术流程、系统组成、监测方法、数据处理、质量控制及成果表达要求, 主要依据现行标准方法、公开文献和前期项目研究基础形成。

本文件前言已提示“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”。如后续征求意见、技术审查或发布实施过程中发现涉及知识产权的内容, 起草组将按照中国土壤学会团体标准管理要求进行核查、披露和处理, 确保标准实施不存在强制使用未声明专利或限制公平实施的问题。

五、采用国际标准的程度与水平的简要说明, 与现行有关法律法规和强制性标准的关系

(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国际标准。现阶段国际上有关便携式 XRF 土壤重金属检测的方法标准（如 USEPA Method 6200）和 GNSS 高精度定位标准较多，但尚无可直接适用于基于厘米级定位的土壤重金属 XRF 原位监测的统一国际标准。标准编制吸收了国际 XRF 现场检测方法中重视基体匹配校准、现场质量控制和数据可比性的基本思路，但系统组成、技术指标、监测流程、数据处理和成果表达均以我国现行标准体系和土壤环境管理实际需求为依据。

本标准的技术水平主要体现在系统组成完整（XRF 分析模块+厘米级精确定位模块+数据集成与处理单元）、定位精度明确（水平 $\leq \pm 2$ cm）、检测指标具体（Cu、Zn、Pb、Ni、As 等）、监测流程规范、质量控制严格、成果表达标准化等方面。标准不追求将国外检测方法直接移植到我国土壤环境监测体系，而是将 XRF 现场检测技术、厘米级精确定位技术与我国土壤环境质量标准、GNSS 定位标准和土壤环境监测技术规范相结合，形成适用于我国土壤重金属原位监测需求的技术路径。

（二）与现行法律法规和强制性标准的关系

本标准与《中华人民共和国土壤污染防治法》《中华人民共和国环境保护法》等法律法规要求相衔接。《中华人民共和国土壤污染防治法》明确提出建立土壤环境监测制度，要求对土壤污染防治实施统一监督管理。标准通过构建基于厘米级定位的土壤重金属 XRF 原位监测技术流程，为土壤重金属污染状况调查、风险评估和修复效果评估提供技术支撑。

本标准与强制性标准 GB 15618—2018《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）》和 GB 36600—2018《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》不冲突。涉及农用地和建设用地土壤污染风险筛选值、管制值和风险判定时，应以 GB 15618—2018 和 GB 36600—2018 为依据。本标准在数据处理与成果表达中明确要求，成果图件中应以不同色阶或符号标识超过上述标准规定风险筛选值的区域。

本标准与 HJ 680—2013《土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、锑的测定 微波消解/原子荧光法》、HJ 1425—2016《土壤和沉积物 多元素的测定 能量色散 X 射线荧光光谱法》、GB/T 39267—2020《北斗卫星导航系统测量型 GNSS 接收机通用规范》、HJ 166《土壤环境监测技术规范》以及 T/ACEF 232-2025《土壤重金属便携式 XRF 检测仪技术要求和现场应用方法》等标准之间为衔接和补充关系。本标准不替代上述标准，而是在其基础上形成面向基于厘米级定位的土壤重金属 XRF 原位监测的综合技术流程。

六、重大意见分歧的处理经过和依据

标准征求意见过程中，专家意见主要集中在标准定位、适用范围、术语定义、系统组成与技术指标、现场监测流程、数据处理方法、质量控制要求和成果报告编制等方面。上述意

见属于标准文本完善、技术边界凝练和操作性增强范畴，未形成影响标准制定方向、核心技术路线或主要监测框架的重大分歧。

对“标准名称和范围是否应进一步限定”的意见，起草组部分采纳并确定为“基于厘米级定位的土壤重金属 X 射线荧光原位监测规范”，明确标准适用于工业场地、矿区周边、城市绿地等陆域表层土壤（0-2 cm）中 Cu、Zn、Pb、Ni、As 等常见重金属元素的原位监测，同时明确不适用于水体沉积物、土层大于 2 cm 的土壤或极端含水量、高有机质含量等显著干扰 XRF 信号的特殊土壤类型。

对“XRF 分析模块检测限和重复性指标”的意见，起草组采纳并明确检测限应满足 HJ 1425 中对目标元素的现场筛查要求，重复性要求同一均匀样品连续测量 6 次，RSD 按照金属元素浓度进行规定。

对“质量保证与质量控制要求”的意见，起草组采纳并明确每日使用标准土壤样品进行性能验证、每 10 个点插入重复点（ $RSD \leq 20\%$ ）、设置固定质控点用于跨期检验、数据三级审核等具体要求。

对“成果报告编制内容”的意见，起草组采纳并明确成果报告应包含项目背景与目标、监测区域概况与网格设计、设备型号与校准信息、现场工作流程与质量控制、空间分布图与统计分析、时间序列变化分析、结论与建议、原始数据附件等内容。

经起草组归并处理和文本修改，未出现不能协调的重大意见分歧。后续审查阶段如出现新的重大分歧，起草组将按照中国土壤学会团体标准管理程序进行记录、论证、协调和处理。

七、其他应予说明的事项

田康、胡文友作为中国科学院南京土壤研究所团队核心成员，在土壤重金属污染诊断与评价、XRF 设备现场应用等方面具有扎实的研究基础。在标准立项之后及征求意见稿阶段，为进一步充实起草团队在土壤重金属原位分析技术力量，经编制组研究决定，增补二人参与标准编制工作，主要协助 XRF 原位的技术论证与文本起草。宋志晓来自本标准联合起草单位生态环境部环境规划院，长期从事土壤污染防治政策标准研究制定及土壤环境质量评估研判工作。在标准立项之后及征求意见稿阶段，为强化标准框架设计与风险判定方面的专业支撑，经编制组研究决定增补其参与标准编制，主要参与土壤环境质量标准衔接和风险判定论证。