

团体标准

《在产企业土壤和地下水污染源头防控高密度电法预警技术规范》编制说明

一、任务来源

为贯彻落实《中华人民共和国土壤污染防治法》《中华人民共和国水污染防治法》及《上海市土壤污染防治条例》，规范在产企业土壤和地下水污染风险实时监测与预警技术应用，提升工业园区、化工企业等重点区域环境风险源头防控能力，根据《上海市环境保护产业协会团体标准管理办法》等有关规定，由上海市环境保护产业协会组织，宝武集团环境资源科技有限公司牵头，联合上海宝发环科技术有限公司、宝武碳业科技股份有限公司、同济大学、宝山钢铁股份有限公司等单位共同编制本标准。

二、标准编制目的和意义

（一）本标准编制背景

在产企业（工业园区、化工厂区等）污染物泄漏可能对土壤和地下水造成长期隐蔽性污染。筑牢源头防线，推动土壤污染治理“未病先防”是提高治理成效、降低治理成本的重要举措。2024年政府工作报告明确“加强土壤污染源头防控”的任务要求。传统监测手段存在时效性不足、空间覆盖有限等问题，高密度电法在线预警技术通过电阻率动态变化监测污染物泄露，具有非侵入性、高分辨率、实时预警的优势。然而，目前行业缺乏统一的技术规范，导致在监测设计、数据采集传输与处理、预警阈值设定等环节存在差异，亟需标准化指导。

（二）标准编制目的

通过明确高密度电法在土壤和地下水污染监测中的技术设计，设备选型，数据采集、传输与处理，异常识别及预警机制要求，实现污染物泄漏的早期识别与精准定位，缩短应急响应时间。为在产企业环境风险管理提供技术依据，助力土壤和地下水污染源头防控。

（三）标准编制意义

1. 贯彻《土壤污染源头防控行动计划》“源头预防”管理要求

2024年11月印发的《土壤污染源头防控行动计划》提出“防新增、去存量、控风险，从源头上减少土壤污染和受污染土壤环境影响”的相关要求，本标准紧扣《土壤污染源头防控行动计划》核心精神，针对工业企业在产阶段污染物泄漏风险，通过高密度电法在线监测技术的标准化应用，实现污染隐患的“早发现、早预警、早阻断”。通过动态监测电阻率异常变化，实时反映地下高风险污染风险，构建“监测-预警-响应”全链条防控体系，从源头削减污染物向土壤和地下水迁移的可能性，推动污染防控从“末端治理”向“源头预防”的实质性转变。

2. 填补标准空白，构建高密度电法在线监测技术体系

当前国内相关标准（如《地下水污染地球物理探测技术指南》、《电阻率剖面法技术规程》）聚焦于场地调查阶段的静态勘探，缺乏针对在产企业动态监测预警的完整规范。本标准主要特点包括：明确在线监测预警技术要求，解决传统电法仅用于事后

勘探的局限性，实现动态监测；基于污染物类型（重金属/有机物）和埋深的分级预警阈值，实现风险量化分级，构建预警体系；根据输出解释成果形成污染羽迁移趋势动化，为智能决策提供基础。

3. 服务城市安全与区域协同治理

上海作为全国工业经济核心枢纽，拥有 16 大工业园区和超 17 万公里地下管网，环境风险呈现高强度、隐蔽性特征。其中部分工业园区毗邻长江、黄浦江等敏感水体，污染泄露扩散后果严重。本标准通过高精度监测网络、多级预警、三维动态建模等技术手段，构建“土壤-地下水”立体防控体系，提升突发环境事件处置效率，筑牢超大城市环境安全防线。本标准基于上海实践形成的技术规范，积极尝试为城市集群提供可复制、可验证、可扩展的标准化路径，赋能城市集群一体化环境污染风险防控。

三、编制过程

（一）调研与策划阶段（2020 年 1 月—2021 年 12 月）

联合同济大学成立专项研究组，系统梳理国内外高密度电法标准、技术文献，结合历史已完成典型工业园区的污染本底调查，编制《在产企业污染高密度电法动态监测技术可行性研究报告》。2021 年 6 月，开展首轮设备选型测试，对比国内外主流高密度电法仪，确定测量设备核心性能指标，完成实验室小试、中试方案策划。

（二）技术验证与工程探索阶段（2022 年 1 月—2023 年 12 月）

在实验室、修复工厂搭建模拟工业场景开展小试对照试验，

探索建立电阻率变化率与污染物类型的量化关系模型。结合典型在产企业土壤污染源头管控项目和地下水修复项目开展可视化应用示范工程。

（三）参数优化与系统升级阶段（2024年1月—2024年12月）

根据实施经验和中长期监测数据进一步优化相关参数，于工程场地模拟泄漏小试，验证电阻率异常响应阈值、时效性的技术可行性，完成系统迭代升级。

（四）标准编制与立项阶段（2025年1月—2025年3月）

由宝武集团环境资源科技有限公司牵头，上海宝发环科技术有限公司、宝武碳业科技股份有限公司、同济大学、宝山钢铁股份有限公司等单位参与的编制组，形成《在产企业场地污染风险高密度电法在线监测与预警技术规范》（立项稿）。

2025年3月6日，由上海市环境保护产业协会邀请相关领域专家召开专家评审会。会上，专家提出修改与完善建议。会后，编制组依据专家建议继续开展完善修改工作，最终形成文稿，并报送上海市环境保护产业协会审查。

四、编制原则

科学性原则：基于电阻率法理论机理，结合上海典型场地地质条件，制定适应性强的技术参数标准。

可操作性原则：在方法有效性或可行性存疑的测区，进行针对性的技术可行性试验，同时结合地质资料和水文地质条件配套数据预处理流程和三级预警阈值表，便于企业落地实施。

协调性原则：与现行标准衔接，引用 GB 36600、HJ 25 系列

等规范，确保监测数据与环境质量评价体系兼容。

五、标准的主要技术内容

（一）总体框架

本标准涵盖范围、规范性引用文件、术语和定义、总则、技术设计、仪器设备、数据采集传输与处理、异常识别与预警发布、监测成果储存等部分，构建起完整的在产企业土壤和地下水污染源头防控高密度电法预警技术体系。

（二）适用范围

本标准适用于在产企业（含化工、石化、制药、冶炼等行业）生产运营过程中，土壤和地下水环境污染泄漏风险的高密度电法在线监测及预警工作。

（三）术语和定义

本标准规定了高密度电法在线监测预警过程中有关高密度电阻率法、污染土电阻率、预警阈值、污染风险预警、泄漏监测、时移电阻率数据反演、时移电阻率差异值 $\Delta\rho$ 等定义。

（四）符号

（1）电位差、供电电极距、装置系数、测量电极距、电阻率：引用《地球物理勘查技术符号》（GB/T 14499）。

（2）供电电流：引用《电阻率测深法技术规范》（DZ/T 0072）。

（五）总则

高密度电阻率法用于土壤地下水环境污染泄漏风险的实时在线监测及预警，应保障合适的场地条件，考量目标区域电阻率差

异、外界干扰等因素，合理布置测试场地，排除外界干扰，以确保满足土壤地下水环境污染泄漏风险实时在线监测及预警的要求。

(1) 应用范围：明确用于在产企业土壤地下水环境污染泄漏风险实时监测及预警，具体适用于地下储罐区、生产装置区、管廊管线等高风险泄漏源及周边等重点区域。结合《地下水污染地球物理探测技术指南》（环办土壤[2022]16号）第四章“地球物理探测方法”内容，明确高密度电阻率法应用范围。

(2) 应用条件：规定目标区域需存在明显电阻率差异、具备稳定供电和数据传输条件，且周围 15m 范围内无大功率电气设备及高压输电线干扰等，保障技术可行性。结合《高密度电阻率测深法勘探技术规程》（Q/SH 0759）“4.应用条件”规定：采用高密度电阻率测深法应同时满足勘查对象与其围岩或其他地质体之间应存在较明显的电阻率差异以及勘查对象产生的电阻率异常能从干扰背景中分辨出来。《电阻率剖面法技术规程》（DZ/T 0073）也规定宜开展电阻率剖面法工作的条件和不宜开展电阻率剖面法工作的地区。

(3) 应用目标：通过监测区域实时电阻率变化进行时移电阻率数据反演，对污染泄露进行预警；对已发生的污染物泄漏进行快速定位和范围界定，解析污染羽空间展布特征。同时，量化了预警时长、监测分辨率、准确率、分级报警机制等技术性能指标。

（六）技术设计

(1) 资料收集和分析：需收集地质水文、污染源特征、企业生产、电磁环境本底数据等多方面资料，为后续设计提供数据

支撑。不同类型资料收集要求宜参考规范中表 2 提供的相关标准/方法。《地下水污染地球物理探测技术指南》（环办土壤[2022]16号）第三章“资料收集和调查区物性特征分析”指出：“收集和分析调查区水文、气象、地形地貌、水文地质等基础资料，具体方法参照《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ25.1）和《地下水环境状况调查评价工作指南》（环办土壤函[2019]770号）。”

（2）现场踏勘：包括测区环境条件、干扰源分布等内容，为测区及测网布设做准备。《电阻率剖面法技术规程》（DZ/T 0073）规定，“如收集的资料不能满足工作目的和任务的要求，应进行野外踏勘，实地踏勘测区地形、地貌、人文、气象、交通、土壤、植被等条件，调查测区干扰情况，对收集的资料进行补充、核实。”具体方法参照《地下水污染地球物理探测技术指南》（环办土壤[2022]16号）。

（3）方法有效性、可行性试验：针对存疑测区进行试验，检验背景场稳定性等指标，确保技术可靠性。具体方法参考《电阻率剖面法技术规程》（DZ/T 0073）。针对试验形式和测点数量要求，引用《电阻率测深法技术规范》（DZ/T 0072）“5.3.3 试验可采用剖面形式或单测深点形式。试验剖面两端应进入围岩区，单测深点形式的测点数不宜少于 3 个，且应包含异常点和围岩背景点。”结合在产企业应用场景，不必要求试验剖面两端进入围岩区。

（4）测区及测网布设：依据工作任务和地质条件确定测区范围、测线方向等参数，同时明确监测周期和数据要求。具体方

法参考《电阻率剖面法技术规程》(DZ/T 0073)“5.4 测区与测网布设”和《电阻率测深法技术规范》(DZ/T 0072)“5.4 测区及测网”。

(5) 测地工作：参考《电阻率剖面法技术规程》(DZ/T 0073)“5.5 测地精度设计”和《电阻率测深法技术规范》(DZ/T 0072)“5.6 测地工作”规定不同测点电极距对应的精度要求，保证测量准确性。

(6) 预警阈值设定：当预警等级达到红色预警时，触发应急响应，停产排查，进行现场土体的送样检测，样品采集与分析应参照《建设用地土壤污染风险管控和修复 监测技术导则》(HJ 25.2)“7 样品采集”和“8 样品分析”中的指定方法进行。

(7) 电极排列方式：参考《电阻率剖面法技术规程》(DZ/T 0073)“5.7 装置类型及电极距选择”。根据不同污染风险场景推荐合适的电极排列方式，提高探测效果。

(8) 数据处理与解释推断：数据处理包含预处理、反演计算等环节；解释推断结合多种因素综合分析，输出多种成果。参考《地下水污染地球物理探测技术指南》(环办土壤[2022]16号)第五章“数据分析解译”等内容。

(七) 仪器设备

仪器设备的基础技术要求应满足《电阻率剖面法技术规程》(DZ/T 0073)，本标准主要针对在产企业长期监测仪器设备的组成、选型、设备技术参数要求以及使用和维护要求进行细化规范。

(八) 数据采集、传输与处理

针对高密度电阻率测试过程中的数据采集、传输与处理等方

面提出技术要求。通过高密度电阻率测试装置及网络采集传输装置实现数据自动采集。通过标准化通信协议（如 TCP/IP 协议）实现现场、长距离数据传输需求，监测数据可通过网络实时传输至监控平台，在网络中断或受干扰后可自动重连恢复传输。明确了数据预处理要求，针对监测噪声分析并采用降噪模型修正后进行数据反演计算。

（九）异常识别与预警发布

明确了异常区域识别中智能筛查流程，在不同阶段根据相应的技术方法和标准进行异常判定，同时结合企业污染物特性、地质条件及验证方法，可进一步判断异常与污染风险相关性。针对不同等级的预警信息，明确各预警等级信息发布要求，同时对预警效果评估提出量化指标。

（十）监测成果储存

明确了监测成果中所需的数据资料收集、留档要求，包括其数据类型、内容、格式、存储周期与更新频率等。

六、与国内外同类标准技术内容的对比情况

（一）国外标准对比情况

国外一些发达国家在地质和地球物理调查、地面调查、危险废物污染场地的快速表征以及数据评估处理等方面有较为完善的标准体系，如美国、欧盟等。

《Standard Guide for Using the Direct Current Resistivity Method for Subsurface Investigation》（ASTM D 6431）概述了通过直流电阻率法评估地下材料及其孔隙流体电学特性的设备、现场操作和解释方法，通过地表测量地下材料的电学性质，获得视电阻率数

据，进而估算地下各层的深度、厚度和电阻率。《Guide for Site Characterization for Environmental Purposes With Emphasis on Soil, Rock, the Vadose Zone and Ground Water》(ASTM D 5730) 通过场地表征，确定场地的物理、化学和生物特性，评估环境状况，为环境决策提供依据，包括确定环境背景条件、评估场地适宜性、监测污染情况等。《Guide for Expedited Site Characterization of Vadose Zone and Ground Water Contamination at Hazardous Waste Contaminated Sites》(ASTM D 6235) 提出了危险废物污染场地的快速场地特征化 (ESC) 流程，旨在为相关方提供决策所需信息，适用于危险废物污染场地，更侧重于快速获取场地特征信息以支持决策。相比之下，本标准结合上海市土层情况，在地球物理探测相关规范的基础上，针对不同在产企业污染泄露情景制定高密度电阻率法监测方案和预警措施，更贴合当前场景下的实际需求。

《Code of practice for ground investigations》(BS 5930:2015) 指出电阻率法特别适用于圈定污染羽流或盐水入侵范围、评估含水层结构等，数据采集后需进行预处理（如噪声滤波、时深转换）和反演分析，以生成地下物性参数（如电阻率）的空间分布模型；反演过程中应评估数据质量，并通过迭代优化算法减少模型误差。本标准制定数据标准化处理流程表，解释推断结合地质背景、污染物类型及电阻率变化特征进行综合分析，输出时移电阻率差异云图（时间切片间隔 ≤ 1 小时）等解释成果与地下水监测井数据的联合分析报告，更具专业性和针对性。

（二）国内标准对比情况

《城市工程地球物理探测规范》(CJJ/T 7) 针对城市工程地

球物理探测工作，规定了技术要求、方法选择、数据解释等内容。《地下水环境状况调查评价工作指南》（环办土壤函[2019]770号）为地下水环境状况调查评价工作提供包括调查内容、方法、质量控制等方面的技术指导。《地下水污染地球物理探测技术指南》（环办土壤[2022]16号）针对地下水污染地球物理探测技术的应用提供指导，涵盖技术原理、方法选择、数据处理等内容。本标准在遵循国家法规标准的基础上，细化高密度电阻率法在土壤地下水环境污染泄漏风险实时在线监测中各环节要求，填补了高密度电阻率法污染泄露监测的空白，如明确不同场景推荐测试装置排列方式及技术参数等。

《高密度电阻率测深法勘探技术规程》(Q/SH 0759)主要规定了高密度电阻率测深法的技术要求和操作规范；《电阻率剖面法技术规程》(DZ/T 0073)主要规定了电阻率剖面法的技术要求和操作规范，均未涉及在线监测和预警技术。《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（试行）(GB36600)规定了建设用地土壤污染风险筛选值和管制值，以及监测、评估和管控的相关要求，用于判断土壤污染程度及是否需要采取风险管控措施。《地下水质量标准》(GB/T 14848)对地下水质量分类、指标及限值、水质监测等内容作出规定，用于评价地下水质量状况和保护地下水环境。本标准在此基础上，增加了在线监测和预警技术的内容，明确了数据标准化处理流程及关键指标，有助于实现污染源概率定位，判断污染物体积和污染羽迁移趋势，及时作出异常识别和预警发布，提升了标准的实用性和针对性。

七、与有关法律、行政法规及相关标准的关系

本标准文件的编制遵循了与管理政策相适应原则，严格遵循《中华人民共和国土壤污染防治法》《中华人民共和国水污染防治法》等相关法律法规的要求。

本标准引用了多项国家标准和行业标准，如《建设用地土壤污染状况调查技术导则》（HJ 25.1）、《地球物理探测指南》（环办土壤〔2022〕16号）、《电阻率剖面法技术规程》（DZ/T 0073）等，在技术条款设计、设备选型、数据质控等环节与这些标准协调一致。

同时，本标准作为团体标准，衔接其他政策指南，突出精细化在线管控，如在《地下水环境状况调查评价工作指南》（环办土壤函〔2019〕770号）基础上细化和补充，本标准聚焦在产阶段实时监测预警，二者形成“调查-监测-预警-管控”闭环，本标准第5.8条款数据处理与解释推断可作为调查指南中“异常区核查”的优先依据。

八、涉及专利的有关说明

无。

九、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

十、实施标准的措施建议

本标准的制定结合本市工业园区污染防控实际需求，系统提出了在产企业土壤和地下水污染源头防控的高密度电法预警技术要求。本标准实施后，在产企业可通过建立监测网络、完善数据管理平台功能等措施满足标准要求。同时，本标准明确了突发污

染事件下的事件触发模式（如加密至 10min/次采样），为污染泄漏事故的快速响应提供标准化技术路径。

本标准发布后，可针对相关在产企业开展轮训，重点讲解阈值动态调整、干扰数据排查等实操技能。同时，应持续做好实施效果跟踪评估，进一步优化预警准确率、污染定位误差等核心指标，必要时对本标准进行完善、修订和补充。

十一、其他应当说明的事项

无。