

基于全生命周期评价的场地土壤污染修复工程碳排放 核算技术指南编制说明

(征求意见稿)

《基于全生命周期评价的场地土壤污染修复工程碳排放核算技
术指南》编制组
二零二六年四月

目录

一、 制定标准的背景、目的和意义	1
二、 工作简况	2
三、 标准编制原则和确定标准主要内容的依据	3
四、 与现行有关法律法规、强制性标准和其他有关标准的关系	4
五、 重大意见分歧的处理经过和依据	11
六、 标准实施的环境效益及经济技术分析	12
七、 贯彻实施标准的措施和建议	13
八、 其他应予说明的事项	13

一、制定标准的背景、目的和意义

1.1 制定标准的背景

在“2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和”的国家战略引领下，生态环境部等七部门通过《减污降碳协同增效实施方案》统筹推进减污降碳协同增效，将其作为生态环境保护与绿色低碳发展的核心路径。土壤地下水污染风险管控和修复是当前重要的环境治理领域，但现有修复技术筛选与评估模式重点聚焦技术适用条件、修复效果、经济成本、环境安全性、是否达到修复目标等方面，对修复过程中资源能源利用和碳排放水平的重视程度不足，无法满足绿色低碳发展要求。

碳排放核算是有效开展土壤地下水污染风险管控和修复碳减排工作、促进土壤地下水环境治理领域绿色低碳转型的基本前提。目前，国家已经发布了发电、废弃电池处理处置等46类生产企业的温室气体排放核算与报告要求，正在加快制定重点产品碳足迹量化方法与要求。然而，关于土壤地下水污染风险管控和修复的碳排放核算方法体系尚未建立，成为制约土壤地下水治理领域减污降碳协同增效的关键障碍。

生态环境部2023年12月发布的《关于促进土壤污染风险管控和绿色低碳修复的指导意见》（环办土壤[2023]19号）提出“以反映土壤污染风险管控和修复全过程绿色低碳水平为目标，逐步建立定性与定量相结合的评价指标体系，编制相关工作指南和技术规范，

不断完善相关数据库，研究制定适用于土壤污染风险管控和修复全过程的环境足迹评估工具和碳核算方法”，为本标准的制定提供了顶层政策依据。

1.2 制定标准的意义

浙江省土壤地下水污染风险管控和修复工程涉及环节多、复杂度高，每个污染治理项目的污染情况、施工条件、治理目标等差异性大，需要因地制宜选择治理技术路线。这与特定类型生产企业或产品具有明确固定的工艺路线截然不同。因此，厘清土壤地下水污染风险管控和修复各种技术路线的特点，提取治理过程的共性要素，制定适用于土壤地下水治理领域的统一的碳排放核算方法，具有较强的应用价值。

开展土壤地下水污染风险管控和修复工程碳排放核算技术指南的编制，对土壤地下水环境治理领域碳排放核算技术的适用范围、技术流程和技术要求进行明确，为管理部门和相关从业单位提供指导，将有利于浙江省土壤地下水污染风险管控和修复工作向绿色低碳方向发展，助力浙江省生态文明先行示范建设。

二、工作简况

2.1 标准主要起草单位和起草人员任务分工

标准起草单位：浙江省生态环境科学设计研究院。

标准主要起草人：庞景理、李斐、张弛、张涛、陈靖文、陆婷。

2.2 主要工作过程

2024.01-2024.06 完成前期调研、确定指南编制方案；

2024.07-2024.12 案例调研、确定编制内容、制定指南大纲；

2025.01-2025.07 制定指南初稿；

2025.08 本标准由浙江省环境科学学会论证立项；

2025.09-2026.04 广泛调研与指南文本修改，形成征求意见稿。

三、标准编制原则和确定标准主要内容的依据

3.1 标准编制原则

（1）规范性原则。本文件严格按照 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》的规则起草，确保标准编制程序、格式规范。本指南作为国家、行业标准的必要补充，符合有关法律法规的要求，并在突出土壤地下水污染风险管控和修复工程碳排放核算特点的同时，做好与现行的“建设用地土壤污染风险管控和修复系列环境保护标准”、“温室气体产品碳足迹量化要求和指南”、“工业企业温室气体排放核算和报告通则”等其他相关标准的衔接工作。

（2）针对性原则。通过参考国内外相关碳排放核算资料，结合土壤地下水污染风险管控和修复工程特点与浙江省实际情况，提出了场地土壤污染修复工程（含地下水及风险管控）碳排放核算技术关键要求，为推动土壤地下水污染风险管控和绿色低碳修复提供支撑。

(3) 可操作性原则。根据浙江省建设用地土壤地下水污染风险管控和修复工程的实际情况，以减污降碳协同增效为出发点，结合工程碳排放核算的技术特点，指导和规范碳排放核算技术在土壤地下水污染风险管控和修复中的应用，提出具有可操作性的实施流程。

3.2 确定标准主要内容的依据

本指南编制依据包括：

GB/T 24067 温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南

GB/T 32150 工业企业温室气体排放核算和报告通则

HJ 25.4 建设用地土壤修复技术导则

HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则

HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

四、与现行有关法律法规、强制性标准和其他有关标准的关系

本指南的编制在调研国外相关标准体系的基础上，充分衔接了国内现行的有关法律法规、强制性标准和其他有关标准，拟填补技术体系中的缺口，为场地土壤污染修复工程（含地下水及风险管控）碳排放核算的实施提供技术支撑。

4.1 国外相关工作的开展

(1) SEFA (Spreadsheets for Environmental Footprint Analysis)

美国环保署 (US EPA) 于 2012 年发布了一套名为“环境足迹分析电子表格 (SEFA)”的 Excel 格式分析工作簿，并在 2014、2019 年先后更新。SEFA 工具能够帮助决策者分析场地清理项目的

环境足迹，确定产生环节并调整方案以减少环境足迹。该工具根据用户输入数据可以计算输出 21 项绿色修复量化指标，详见表 1。

《理解和减少项目环境足迹的方法》（Methodology for Understanding and Reducing a Project’s Environmental Footprint）提供了 21 项指标量化方法的详细说明。SEFA 工具旨在传播关于环境足迹分析的信息，并不具有指南或规范性质，其使用也非 USEPA 的强制要求。

表 1 美国环保署 SEFA 工具绿色修复量化指标

核心指标	绿色修复指标		计量单位
材料与废弃物	M&W-1	现场使用的精制材料	美吨
	M&W-2	来自回收或废弃材料的精制材料百分比	百分比
	M&W-3	现场使用未精制材料	美吨
	M&W-4	来自回收或废弃材料的未精制材料的百分比	百分比
	M&W-5	现场产生的危险废物	美吨
	M&W-6	现场产生的无害废物	美吨
	M&W-7	回收或再利用的潜在现场废弃物总量百分比	百分比
水	现场用水（按来源）		
	W-1	来源、用途、去向组合#1	百万加仑
	W-2	来源、用途、去向组合#2	百万加仑
	W-3	来源、用途、去向组合#3	百万加仑
	W-4	来源、用途、去向组合#4	百万加仑
能源	E-1	能源使用总量	百万英热单位
	E-2	自愿从可再生资源中获取的能源总量	
	E-2A	现场生产或使用以及生物柴油的使用	百万英热单位
	E-2B	自愿购买可再生电力	兆瓦时

	E-2C	自愿购买可再生能源证书 (RECs)	兆瓦时
空气	A-1	现场 NO _x 、SO _x 和 PM ₁₀ 排放	磅
	A-2	现场有害空气污染物排放	磅
	A-3	NO _x 、SO _x 和 PM ₁₀ 排放总量	磅
	A-4	有害空气污染物排放总量	磅
	A-5	温室气体排放总量	美吨二氧化碳当量
土地与生态系统	定性描述		

(2) SRT (Sustainable Remediation Tool)

美国空军工程与环境中心 (US AFCEE) 发布了由数个 Excel 电子表格构成的“可持续修复工具 (SRT)”，用于计算场地修复技术的可持续性指标。该工具特别针对应用频率较高的 3 种土壤修复技术 (清挖、土壤气抽提、热处理) 和 5 种地下水修复技术 (抽出处理、强化生物修复、渗透性反应墙、原位化学氧化、监测自然衰减)。用户选定修复技术后输入初始数据，可输出碳排放量、NO_x 排放量、SO_x 排放量、PM₁₀ 排放量、总能耗、经济成本、事故风险、土地和/或地下水资源价值变化等指标结果。以土壤清挖技术为例，SRT 工具引导用户输入土壤清挖面积及深度、土壤类型、污染物类型及浓度、土地经济价值及修复后增值程度、土地生态价值获益程度、项目成员飞行总里程、场地工人单程出行距离、场地工人建设期间出行次数、场地工人运行期间出行次数、土壤运输单程距离等数据，根据工具内置默认参数，计算上述可持续性评价指标。

(3) SiteWise

美国海军（USN）、美国陆军（USA）、美国陆军工程兵团（USACE）及 Battelle 研究所联合开发了一系列 Excel 电子表格组成的 SiteWise 工具，用于评估和量化各种修复方案对环境、健康、安全和经济的影响。评价指标包括温室气体排放、能源消耗、大气污染物排放（NO_x、SO_x、PM）、水资源消耗、电力消耗、资源消耗（填埋场空间和表层土壤消耗）、工人安全、经济成本等。输入数据考虑修复使用材料的生产、往返现场的运输（材料、设备、人员）、所有现场活动（如设备操作）、废弃物管理等。在材料投入计算方面，该工具仅考虑修复期间使用且无法重复利用的消耗品，如井管安装使用的 PVC 材料。修复设备或交通运输工具的生产不在该工具考虑范围内。

（4）SimaPro

SimaPro 是荷兰 PRé Sustainability 公司开发的全球领先且应用广泛的生命周期评估商业软件，通过系统化建模支持产品从原材料获取到废弃处置的全生命周期环境影响分析。SimaPro 工具集成了 Ecoinvent 3、Agri-Footprint、ELCD 等权威数据库，包含超过 15000 个工艺流程数据，支持 IPCC 2013 等碳核算方法。

总体而言，SimaPro 应用于土壤地下水修复评估时需用户自定义建模，不同项目及不同用户间的统一性、可比性较差。SEFA、SRT、SiteWise 等绿色评估工具虽然针对土壤地下水污染治理领域开发，但具有评估指标繁杂、语言及单位障碍、内置参数与浙江省实际情况匹配度较差等不足之处。

4.2 国内相关工作的开展

根据世界资源研究所和世界可持续发展工商理事会建立的《温室气体核算体系》，将碳排放核算分为范围 1、范围 2、范围 3。范围 1 排放是企业拥有或控制的现场排放源的直接排放，包括固定设备燃烧排放、移动运输设备燃烧排放、化学反应产生的过程排放、设施设备泄露的无组织排放。范围 2 排放是企业外购电力、蒸汽、加热、冷却等能源产生的间接排放。范围 3 排放是企业供应链上下游环节产生的间接排放（不包括范围 2），包括供应商因提取原材料、制造产品、运输货物或执行废弃物处置产生的排放，职员差旅和上下班通勤产生的排放，设备、车辆或建筑物等资本货物生命周期中产生的排放，企业销售产品使用、报废处理产生的排放，企业租赁资产使用产生的排放等。范围 3 排放发生在企业的直接控制之外，在总碳排放中占据较大，但也最难统计。

（1）工业企业温室气体排放核算系列标准

国家层面已经陆续发布了《工业企业温室气体排放核算和报告通则》（GB/T 32150）和 GB/T 32151 系列行业温室气体核算与报告标准，具体涵盖发电企业、电网企业、镁冶炼企业、铝冶炼企业、钢铁生产企业、民用航空企业、平板玻璃生产企业、水泥生产企业、陶瓷生产企业、化工生产企业、煤炭生产企业、纺织服装企业、独立焦化企业、其他有色金属冶炼和压延加工企业、石油化工企业、石油天然气生产企业、氟化工企业、锻造企业、热处理企业、家具生产企业、铸造企业、畜禽养殖企业、种植业机构、电子设备制造

企业、食品烟草及酒饮料和精制茶企业、造纸和纸制品生产企业、陆上交通运输企业、矿山企业、机械设备制造企业、水运企业、木材加工企业、涂料生产企业、颜料生产企业、炭素材料生产企业、玻璃纤维产品生产企业、绝热材料生产企业、烧结类墙体屋面及道路用建筑材料生产企业、水泥制品生产企业企业、建筑石膏生产企业、建筑防水材料生产企业、工业硅生产企业、铜冶炼企业、铅冶炼企业、锌冶炼企业、磷酸及磷酸盐企业、废弃电池处理处置企业等 46 个行业。工业企业温室气体排放核算主要统计企业自身能够直接掌握的排放源，包括化石燃料燃烧排放、购入电力和热力产生的排放、输出电力和热力扣除排放、过程排放、碳清除等方面，没有从全生命周期角度核算供应链上下游产生的碳排放。

（2）产品碳足迹核算系列标准

国家层面已经陆续发布了《温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》（GB/T 24067）和部分产品碳足迹量化方法和要求，具体如内燃机、化学纤维、塑料制品、电解铝、畜产品等。正在制定标准的产品包括铸件产品、塑料管道系统、液化石油气、电动汽车、塑料薄膜产品、电能存储系统用锂离子电池、石油焦、石油沥青、水泥、可再生燃料：HVO 馏分、碳酸钠（纯碱）、精己二酸、镍盐、合成氨、光伏发电、光热发电、光伏组件、人造革与合成革产品、汽车驱动电机、光伏逆变器、汽车动力电池、氢、制冷空调设备、暖通空调及净化设备、光伏玻璃、燃气发电、风力发电、核能发电、丝绸产品、水力发电、棉纺织产品、服装产品、燃煤发电、工业车辆、

包装产品、铬化合物、轮胎、氢氧化钾、尼龙 66 盐、无机硅化合物、锰盐、工业氧化镁、磷酸和磷酸盐、甲醇、钴盐、工业硫酸、尿素、石材、石灰、合成树脂、石蜡、煤炭产品、天然气、原油、房间空调器、电动汽车充电设备、家具、照明产品、电子电器等。碳足迹核算从产品全生命周期视角考虑，通过收集原辅料及能源获取阶段（含运输）、产品生产阶段（含主要生产系统、辅助生产系统、附属生产系统）、产品运储阶段、产品使用阶段、产品废弃处置阶段等所有阶段的碳排放源活动数据和排放因子计算碳排放量。

（3）地方标准

山东省于 2024 年发布了《建设用地土壤污染修复绿色低碳评价技术指南（征求意见稿）》，从管理创新、绿色修复和低碳修复三个维度构建了建设用地污染土壤绿色低碳修复评价指标体系，包括 3 个一级指标、10 个二级指标，24 个三级指标。其中，低碳修复一级指标下含能源资源利用和碳排放 2 个二级指标。碳排放指标主要计算土壤修复/风险管控工程中机械能耗、材料生产、交通运输以及电力消耗产生的总碳排放量。机械能耗碳排放量由挖机、钻机等加工设备每台班能耗、加工设备台班数、所耗能源碳排放因子三者乘积计算。材料生产碳排放量由钢材、水泥等设备耗材和药剂的消耗量、对应排放因子二者乘积计算。交通运输碳排放量由材料载重量、材料平均运输距离、每吨千米碳排放因子三者乘积计算。电力消耗碳排放量由设备耗电量、区域电网碳排放因子二者乘积计算。

总体而言，现有工业企业温室气体排放核算系列标准不涉及土

壤地下水环境治理领域，核算边界未覆盖全生命周期；产品碳足迹核算系列标准目前聚焦工业产品，未涉及环境治理等生产性服务。山东省发布的《建设用地土壤污染修复绿色低碳评价技术指南（征求意见稿）》中碳排放核算内容占比小，仅为绿色低碳指标体系的有机组成部分，仍需针对土壤污染修复工程开展更加全面细致的碳排放核算研究。

4.3 与现行法规、标准的关系

作为污染土壤地下水治理修复的相关技术指南，本指南以《中华人民共和国土壤污染防治法》、《地下水管理条例》为指导，充分衔接《建设用地土壤修复技术导则》（HJ25.4-2019）、《污染场地风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ25.5-2018）、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）等国家技术标准，并充分调研了国内外污染场地治理修复碳排放核算相关标准，对实施过程中存在的堵点、痛点等进行了充分研究，对重要技术要点进行了梳理和补充。本指南的工作流程涵盖了场地土壤污染修复工程（含地下水及风险管控）碳排放核算技术实施的全过程，工作程序完整，技术要点明确。本指南的制定是以上法律法规和环境保护标准在土壤地下水污染治理修复领域践行绿色低碳发展理念的有力拓展和补充。

五、 重大意见分歧的处理经过和依据

无。

六、标准实施的环境效益及经济技术分析

本指南内容体现了场地土壤污染修复工程（含地下水及风险管控）碳排放核算技术应用的完整流程，对科学合理开展土壤地下水污染治理碳排放核算，推动减污降碳协同、绿色低碳转型起到了积极作用。本指南详细规定了土壤地下水污染风险管控和修复工程碳排放核算技术的工作程序及内容、核算边界和排放源确定、地块层级核算要求及排放量计算、数据质量管理要求、不确定性分析、核算报告编制等相关要求。指南实施后可带来以下效益：

（1）本指南严格遵循《中华人民共和国土壤污染防治法》、《地下水管理条例》和《温室气体产品碳足迹量化要求和指南》关于土壤地下水污染防治及碳排放核算的总体思路，从技术层面提出了应用碳排放核算技术对场地土壤污染修复工程（含地下水及风险管控）进行碳排放水平评价的总体程序、内容和要求，对促进浙江土壤地下水污染治理绿色低碳转型，推进浙江生态文明建设，具有重要而深远的意义，并且能实现良好的环境效益和社会效益；

（2）本指南的技术框架和相关参数要求通过大量文献资料调研、专家咨询后，进行了相应完善和改进，能够与浙江当前土壤地下水污染风险管控和修复工程现况相适应，符合浙江土壤地下水污染治理绿色低碳化的实际需求。本指南的实施将为浙江污染土壤地下水风险管控与绿色低碳修复提供有效的指导和监管支撑。

七、贯彻实施标准的措施和建议

7.1 加强标准培训及宣传

建议由编制单位向相关单位和相关管理部门开展规范宣传活动，组织关于本标准的宣传贯彻培训，以帮助相关单位及技术人员正确理解和应用本标准。

7.2 做好实施准备和试点

做好相关条款的执行与实施的准备，必要的情况下可选择实际典型污染土壤地下水风险管控和修复工程进行试点示范工作。

7.3 研究制定配套机制

本指南实施后，建议加快形成有效的制度机制，例如反馈和落实机制、研究和通报机制、标准联动修订机制、评估成果示范机制等，加快指南实施和应用。

八、其他应予说明的事项

本标准受“领雁”研发攻关计划“区域土壤污染风险防控与原位修复技术”（2024C03131）项目的支撑。