

《生态环境损害鉴定评估技术指南 土壤和
地下水（征求意见稿）》
编制说明

标准编制组

二〇二〇年九月

目 录

1 标准的编制思路.....	1
2 国内外土壤与地下水生态环境损害评估技术现状及实践.....	1
2.1 国外土壤与地下水生态环境损害鉴定评估技术体系.....	1
2.2 我国土壤与地下水生态环境损害鉴定评估技术体系.....	4
2.3 土壤与地下水生态环境损害鉴定评估现状.....	5
3 标准主要技术内容.....	13
3.1 适用范围.....	13
3.2 术语和定义.....	14
3.3 工作程序.....	19
3.4 鉴定评估准备.....	19
3.5 土壤与地下水损害调查确定.....	20
3.6 土壤与地下水损害因果关系分析.....	20
3.7 土壤与地下水损害实物量化.....	21
3.8 土壤与地下水损害恢复或价值量化.....	21
3.9 土壤与地下水恢复效果评估.....	22
3.10 附录.....	22
4 对实施本标准的建议.....	22

1 标准的编制思路

我国土壤和地下水生态环境污染与破坏形势较为严峻，近年来涉及土壤和地下水的环境污染与生态破坏事件急剧增多，事件类型包括突发环境事件、历史遗留工业污染、固体废弃物/废水倾倒和长期累积排放、生态破坏事件等，导致土壤和地下水生态环境及生态系统服务功能遭受损害。由于土壤的高度异质性、地下水的流动性、土壤与地下水环境背景数据缺乏、生态系统服务功能影响因素多，土壤与地下水生态环境事件往往面临生态环境基线确定难、因果关系判定难、恢复决策难、恢复费用估算和损害价值量化难等现实问题。

《生态环境损害鉴定评估技术指南 环境要素 第1部分：土壤和地下水》（以下简称《土壤和地下水指南》）针对土壤和地下水生态环境损害的特点，遵循《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节 第1部分：总纲》的总体规定，详细阐述了土壤与地下水环境损害评估特征污染物识别、土壤与地下水生态系统服务功能损害实物量化指标选取、基线获取、损害现状调查的具体要求，明确了土壤与地下水生态环境损害因果关系判定的原则，给出了恢复方案制定和恢复费用估算的推荐方法，是生态环境损害鉴定评估技术在土壤与地下水生态环境损害鉴定评估领域的具体深化。

《土壤和地下水指南》是生态环境损害鉴定评估技术体系的重要组成部分，适用于因污染环境或破坏生态导致的土壤与地下水生态环境损害鉴定评估工作。

《土壤和地下水指南》重点对损害调查、基线确定、因果关系分析、损害量化评估等技术环节进行了详细介绍，为土壤与地下水生态环境损害的鉴定评估工作提供技术指导。

2 国内外土壤与地下水生态环境损害评估技术现状及实践

2.1 国外土壤与地下水生态环境损害鉴定评估技术体系

美国、欧盟等分别针对生态环境损害构建了比较健全的应急响应、责任追究与赔偿法律制度体系。生态环境损害鉴定评估涉及领域广，损害对象类型多，过程和机理复杂，表现形式多样，损害评估难度大，因此，发达国家通常针对某些

重点关注的损害类型，优先开展有针对性的立法与资金保障机制建设以及相关技术方法研究，再逐步拓展到其它损害类型。

(1) 美国

美国构建了系统的自然资源损害鉴定评估标准体系。自 20 世纪 70 年代起，美国开始针对自然资源损害的责任追究进行专门立法，如 1974 年的《安全饮用水法》、1977 年的《清洁水法》、1980 年的《综合环境响应、赔偿与责任法》、1990 年的《油污法》等。尽管《超级基金法》的初衷在于保护人体健康，但同时规定了排放危险物质导致自然资源损害的责任主体的生态环境恢复义务，在该法施行后两年内由美国内政部制定规则来指导自然资源受托人开展自然资源损害评估（NRDA）。1986 年，国会对《超级基金法》进行了修正，赋予自然资源受托人行使自然资源损害索赔的权利。经过近 20 年的实践逐步完善了自然资源损害评估与赔偿的相关立法，建立了生态环境损害评估与赔偿的工作机制。

美国联邦政府、州政府以及内政部、农业部、商务部等均为自然资源受托人，负责开展自然资源损害的评估、索赔工作。美国能源部、国防部等联邦机构既要负责危险废物排放的清理行动，还要负责由于排放所造成的受损自然资源的恢复，在将污染场地修复和 NRDA 结合方面开展了很多研究，还设立了指导委员会，负责监督其作为联邦受托人和诉讼被告的职责。虽然美国相关法律没有将美国环保署（EPA）规定为开展 NRDA 的主体机构，但在 NRDA 的实践中，EPA 充分发挥自身在环境污染事件处置前期应急响应、污染清理过程中的工作基础，与作为自然资源受托人的内阁级别的联邦政府部门和州政府充分协调配合，在 NRDA 过程中发挥着环境保护综合协调与监督管理的重要作用。

随着环境形势的变化和环境损害评估实践的需要，美国针对石油类污染物泄漏、危险废物不当处置和有毒有害物质排放三种主要的环境污染事件造成的生态环境损害构建了完整的自然资源环境损害评估工作程序，包括自然资源及其服务损害确定与量化、因果关系判定、损失确定等。针对自然资源损害评估，美国内政部制订了行政法规《Part 11—Natural Resource Damage Assessment》，1986 年-1987 年美国内政部根据 CWA 和 CERCLA 最先颁布了分别针对大型和小型环境污染事件的 Type B 和 Type A NRDA 技术规范，提出了“较少原则”和以市场价

值评估为主的评估技术方法，1994年的俄亥俄州以评估技术方法不够科学全面为由诉美国内政部案发生后，对NRDA规范非使用价值评估技术方法部分进行了修订。根据该法规，美国内政部土地管理局和国家公园管理局于2003年和2008年分别提出了指导开展NRDA的工作手册《BLM Natural Resource Damage Assessment and Restoration Handbook》和《Damage Assessment and Restoration Handbook》。鱼类和野生动物管理局（FWS）也制定了自然资源损害评估相关导则《A Manual For Conducting Natural Resource Damage Assessment: The Role of Economics》，以指导损害评估的开展。专门针对土壤损害评估的《自然资源损害与鉴定评估手册》规定了以土地和自然资源作为受托人的联邦和州政府机构以及印度部落评估资源损害并恢复受影响资源的方法，为开展自然资源损害评估和恢复活动提供指导和政策支持。

（2）欧盟

欧盟的环境损害评估进程明显滞后于美国的实践，但同时也充分借鉴了美国经验。自20世纪90年代起，欧盟成员国开始关注污染造成的生态环境损害。2004年，欧盟颁布了第一部具有严格环境责任和强制执行并基于环境污染损害预防和受损生态环境恢复为理念的环境责任指令（ELD, 2004/35/CE），同时将资源环境损害的范围严格限定在野生鸟类保护指令（79/409/EEC）和自然生境和野生动植物保护指令（92/43/EEC）涉及的受保护物种及其栖息地、欧盟水框架指令（2000/60/EC）中涉及的水生态环境以及对人体健康存在潜在风险的污染土地三大类。2006年修订的环境责任指令（2006/21/EC）针对矿物采选工业固体废物处置环境责任进行了补充规定，2009年修订的环境责任指令（2009/31/EC）增加了对存储场地运营工业活动的严格环境责任补充规定。欧盟环境责任指令（ELD）推荐在评估环境损害和选择适用恢复措施时采用资源等值法（REM），于2006年至2008年开展了在欧盟ELD指令框架下资源等值分析技术在环境损害评估中的应用（REMEDE）研究计划，并于2008年推出了等值分析工具包（Toolkit），包括初始评估、确定和损害量化、确定和量化增益、确定补充和补偿性恢复措施的规模、监测和报告五步。

1998年，德国制定《联邦土壤保护法》，确定了土壤生态环境损害修复相关制度。《联邦土壤保护法》明确了土壤的服务功能也受到法律保护，包括自然功能：生命支持（栖息地）、生态系统平衡（过滤、缓冲和物质转化，分解、平衡和恢复的媒介）、水和营养物质循环功能；文化历史功能；服务人类功能：定居、娱乐、服务于农业林业、其他经济公共用途。2007年，德国根据欧盟2004年的35号指令颁布了《环境损害预防及恢复法》（即《环境损害法》），确立了生态环境损害赔偿制度，确定了“基础修复”“补充修复”“赔偿修复”等修复制度，包括修复受损生态环境、补偿自然资源和（或）服务功期间损失等。

意大利环境、领土与海洋部为环境修复的主管机构，负责对土壤污染情况开展调查，并在必要时采取修复行动。意大利环境、领土与海洋部可以对责任方进行行政处罚，也可以就责任方造成的损害提起民事诉讼，由法庭对环境损害进行确认。意大利环境保护与研究院（ISPRA）是意大利的环境损害评估专业机构。

无论是美国的石油污染法案与超级基金法还是欧盟的环境责任指令，基本都经历了通过严格立法明确各方权责、在实践中摸索运作机制、逐步构建和完善技术规范、探索协作沟通的最佳解决途径四个阶段，其中美国创立了包括环境风险预防和应急响应、自然资源损害评估与修复赔偿、损害责任认定与赔偿修复资金管理的全流程自然资源损害应对法律与工作机制，欧盟建立了环境损害责任法律与环境损害评估技术体系，成员国结合本国法律体系形成了自身的损害追责制度以及以污染修复和生态恢复为导向，行政磋商和法律诉讼相衔接的损害赔偿运行机制。

2.2 我国土壤与地下水生态环境损害鉴定评估技术体系

我国土壤生态污染损害鉴定评估方法体系初步建立。生态环境部从2011年前后开始，通过财政项目针对生态环境损害评估技术框架、损害调查、因果关系判定、损害量化方法等开展了专门研究，开发了突发大气环境事件损害评估模型、突发水环境事件损害评估模型、土壤地下水环境损害量化模型等实用工具。2018年，科技部重点专项“场地土壤污染成因与治理技术”第一次专门设置了与土壤环境损害鉴定评估相关的课题“场地土壤环境损害鉴定评估方法和标准”，但由

于进展不力被科技部中止。另外，在 2018 年的“公共安全风险防控与应急技术装备”重点专项（司法专题任务）中设计了“公益诉讼领域环境损害鉴定关键技术及方法研究”，该课题重点关注满足环境公益诉讼领域的鉴定实施程序与技术标准化研究，难以为土壤生态环境损害鉴定评估与责任追究提供技术方法支持。2018 年生态环境部发布了《生态环境损害鉴定评估技术指南 土壤与地下水》（环办政法〔2018〕46 号），针对涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估提出了详细的调查评估方法和技术要点。

2.3 土壤与地下水生态环境损害鉴定评估现状

根据土壤与地下水环境损害鉴定评估的工作流程和实践经验，其主要技术难点在于土壤与地下水环境基线调查、因果关系判定、恢复方案制定和损害价值量化，已开展的相关研究也主要致力于提高基线确定的准确性、保障因果关系判定的可接受度、增强恢复方案制定的合理性、降低损害价值量化的不确定性等方面。

2.3.1 环境基线调查

基线在环境损害鉴定评估过程中的作用极其关键，它是判断环境损害是否发生的根据，也是损害时空范围和损害程度、确定恢复目标和恢复规模的重要依据。不同国家对环境损害鉴定评估的基线有不同的理解和认识。美国 OPA 法规（Oil Pollution Act Regulations）指出，基线是环境损害事件未发生的状况下自然资源及其提供的服务的存在状态，通常按照评估区域历史数据、邻近参考区域数据、控制数据等其中的某一种或几种的组合来确定。DOI 法规（Department of the Interior Regulations）提出，基线是指评估区域在没有出现研究的石油排放或有害物质释放时的状态。欧盟环境责任指令（Directive 2004/35/EC）对基线条件的定义为在环境损害事件没有发生时自然资源和服务存在的状态，通常是基于现有可利用信息估计得到。在我国环境损害鉴定评估中，基线也称为生态环境基线，是指环境污染或生态破坏行为未发生时，受影响区域内生态环境的物理、化学或生物特性及其生态系统服务的状态或水平。

虽然《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲》中规定优先采用历史数据作为基线水平，但大多数情况下收集的生态环境数据资料是在资源状态改变或损害

发生很久之后才获得的，历史数据往往很难获取，尤其是土壤和地下水，在全国农用地与重点行业企业用地调查开展之前，历史上并未开展过全面的监测，即使开展了监测，点位也难以做到全覆盖，因此，对于具体损害案例而言，通过历史数据确定基线水平难度很大，往往需要通过调查对照区域确定基线水平。由于土壤本身的异质性非常强，地下水也具有流动性，污染物在土壤和地下水中的分布往往不规律，空间变异性很大，因此需要通过在对照区布设优先的点位调查污染物浓度背景值难度也很大。如何有效、科学地确定基线已然成为环境管理者和损害评估人员面临的重要难题。

我国还未针对生态环境损害基线确定方法开展过专门研究，仅在生态环境部支持的财政项目“环境损害鉴定评估”中设置了土壤污染调查与损害确认方法研究课题，依托该课题正在编制土壤环境基线确定相关的技术指南。但是，我国前期在土壤背景值、土壤环境标准等方面的研究积累，对土壤基线确定方法有重要的参考价值。从二十世纪六七十年代开始，我国就陆续开展了土壤背景值研究，并积累了大量宝贵的基础数据，发表了众多科研成果。

不同于环境基线值，土壤环境背景值是指一定时间条件下，仅受地球化学过程和非点源输入影响的土壤中元素或化合物的含量。我国土壤环境背景值研究始于 70 年代中期，涉及全国、区域、省、市和县等多个尺度。1978 年，农牧渔业部组织 34 个单位，对 13 个省市自治区的主要农业土壤和粮食作物中的主要元素含量进行调查研究，分析必测元素 8 个重金属，选择元素 12 个，研究成果《农业环境背景值研究》比较系统地介绍了背景值的研究方法，包括调查、布点与采样、实验室分析和质量控制、土壤元素背景值的数理统计和背景值图的编制技术，用含量范围、平均值和标准差给出我国主要农业土壤元素背景值，绘制了用分级统计图形式表达的 9 个自然区域土壤元素背景值图。“七五”全国土壤环境背景值调查研究，其调查范围包括除台湾省外的 29 个省市自治区和五个开放城市，主要按照不同密度的网格进行布点，采集典型性、代表性的剖面样品，共测试 61 个元素含量，研究成果《中国土壤元素背景值》明确了土壤环境背景值的含义，系统地介绍了调查工作程序、布点与采样、样品的分析测试与质量控制、数据处理与统计分析等，给出了 61 个元素的频数分布和按照土类、行政单元和母

岩统计的基本统计量，此研究成果在多个领域得到广泛应用，是我国土壤环境背景调查研究成果的重要标志性成果，为土壤背景值的确定提供了重要方法参考。

“十一五”全国土壤污染现状调查在“七五”调查布设的 4095 个土壤典型剖面 和 862 个主剖面点位采集土壤样品、进行分析测试并对比分析有关监测结果。同时，取全国土壤环境背景样品库中 20% 的样品进行同步分析测定。通过回顾性调查，对比分析 20 年来我国土壤背景点环境质量变化情况，扩大了解我国土壤背景点环境质量状况，扩充了全国土壤环境背景点样品库。

我国尚未发布土壤环境背景含量统计分析方法的技术导则、指南等标准文件，但发布了一些与土壤环境背景调查相关的技术规范文件。2004 年，原国家环境保护总局制定发布了《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166-2004），对区域土壤背景监测做了规定，包括采样单元、样品数量、网格布点、野外选点、采样、样品流转、样品制备、样品保存、样品分析测定、背景值使用等。2006 年，原国家环境保护总局印发了《全国土壤污染状况调查点位布设技术规定》，规定了此次土壤环境背景点回顾性调查的背景点的布设。2012 年，农业部印发了《农田土壤环境质量监测技术规范》（NY/T 395-2012），对农田土壤区域土壤背景监测布点做了规定，包括布点原则、布点方法、布点数量。目前，生态环境部南京环境科学研究所正在编制《区域性土壤环境背景含量统计 技术导则》，用于规定区域性土壤环境背景含量统计工作程序以及区域性土壤环境背景含量数据获取、数据处理分析、统计与表征的技术要求。

国外方面，美国环保署没有制定确定区域土壤背景值确定方法标准，只发布了与地块尺度土壤背景浓度确定相关的技术文件：1995 年，EPA 国家工程论坛发布了《废物场地土壤和沉积物中无机物背景浓度的确定》(Determination of Background Concentrations of Inorganics in Soils And Sediments at Hazardous Waste Sites)非正式技术指导文件，该技术文件讨论了背景取样地点的选择、采样程序选择中需考虑的因素以及判断潜在废物场地和背景场地上污染物含量之间是否存在显著差异的统计分析方法。2002 年，EPA 制定了《超级基金场地土壤背景和化学浓度比较指南》(Guidance for Comparing Background and Chemical Concentrations in Soil for CERCLA Sites)，为超级基金场地背景含量的确定提供实

用指导，为评估背景数据集与场地污染数据的差异性提供参考。国际标准化委员会(ISO)制定了《土壤质量-背景值确定指南》(ISO19258: 2018)，明确背景值确定的程序，包括取样、土壤分析、数据处理和背景值表达。欧洲标准委员会(CEN)于2018年8月直接将ISO《土壤质量-背景值确定指南》(ISO19258: 2018)文本批准为欧洲标准 EN ISO 19258: 2018。

2.3.2 因果关系分析

因果关系判定是环境损害鉴定评估过程中难度最大的环节。对于土壤和地下水环境而言，可能存在污染来源不明确、存在多个污染来源或者污染来源明确但证据不足等多种情况，均需要开展因果关系判定。土壤本身具有高度异质性，污染物从源端进入土壤后，其迁移扩散过程往往呈现明显的不规律性，难以追踪迁移路径。此外，污染物在土壤和地下水环境中，会发生一系列复杂的物理、化学、生物转化过程，导致受体端污染物相比源端污染物变异更大，增加同源性分析难度。由于损害成因的多样性、损害过程的复杂性以及损害后果的累积性、隐蔽性等，加之土壤和地下水是一个“黑箱”，要还原损害过程，构建“污染源-迁移途径-受体”的完整证据链，技术难度较大。

美国内政部和土地管理局环境损害评估准则中均指出，在自然资源损害确定的因果关系判定环节，必须确定油类或危险废物传输到受损资源的传输途径。可以通过证实可能迁移路径下资源(水、沉积物、土壤或植物)中含有足够浓度的油类或危险废物来证明传输途径的存在；或者使用模型证明可能迁移路径中的污染情况和油类或危险废物中一致，来证明该路径为传输途径。美国国家海洋和大气管理局自然资源损害评估准则指出，如果损害是由直接暴露于油泄漏中导致的，那么需要证明：①泄漏和受关注的自然资源之间存在传输途径；②资源暴露于泄露中；③该暴露导致了对资源的不利影响。欧盟资源等值分析和环境损害评估量化准则指出，文献中的研究数据、逻辑分析、特定场地研究、模拟和演绎推理都能够用于评价因果关系。因果关系证明包括：①发生危险化学物质的泄漏(证人、采样数据、照片)；②泄漏的化学物质通过空气或水传输到受影响区域(采样数据、证人、照片、模拟)；③受体暴露于化学物质中(证人、采样数据、逻辑假设)；④基于已知化学物质的毒性判断化学物质浓度足以引起有害效应(采样数据、模拟)；

⑤效应已经发生或可能发生(文献数据、专业观点、现场或实验室证实暴露、模拟)。评估者不需要确定单一事件对所涉及自然资源和服务的准确效应，只要证明因果关系是合理的，并且至少对效应有一定的贡献即可。

近年来我国相关的法律条文和标准规范中对因果关系判定的原则和要求也有所涉及。2014年发布的《环境损害鉴定评估推荐方法(第II版)》指出，污染环境行为与环境损害间的因果关系判定，包括环境暴露与环境损害间的因果关系判定和环境污染从源到受体的暴露途径的建立与验证两部分。环境暴露与环境损害间的因果关系判定应符合以下一般原则：环境暴露与环境损害间存在时间先后顺序，环境暴露与环境损害间的关联具有合理性、一致性、特异性。在掌握污染源排放状况、区域环境质量状况等基础资料的基础上，提出污染来源的假设并建立和验证暴露途径。2015年6月1日公布的《最高人民法院关于审理环境侵权责任纠纷案件适用法律若干问题的解释》中第六条指出，被侵权人根据《中华人民共和国侵权责任法》第六十五条规定请求赔偿的，应当提供证明以下事实的证据材料：①污染者排放了污染物；②被侵权人的损害；③污染者排放的污染物或者其次生污染物与损害之间具有关联性。2016年发布的《总纲》提出了生态环境损害鉴定评估工作中因果关系的判定原则和注意事项。

目前常用的因果关系分析方法包括指纹图谱法、多元统计分析方法、同位素方法等。

(1) 指纹图谱法

指纹图谱是将研究对象经过适当处理后，采用一定的分析手段，得到的能够表示其化学特征的共有峰的色谱图或者光谱图等。形象地讲，污染源的指纹图谱就是其的身份证，其主要化学信息都能体现在指纹图谱上，具有模糊性和整体性特点。由于它具有指纹特征，可以对图谱进行整体分析，适合宏观判断复杂化学物质组成的稳定性。指纹图谱技术最早用于海洋溢油的鉴别，即通过对溢油和嫌疑油样品的“油指纹”进行鉴别比对来确认溢油源。油品中正构烷烃、多环芳烃、类异戊二烯类化合物、甾烷和萜烷等均可作为“油指纹”用于原油鉴别，之后该“指纹”的概念被扩展应用到其他领域。指纹图谱技术涉及众多方法，包括薄层扫描法(TLCS)、高效液相色谱法(HPLC)、气相色谱法(GC)等色谱法以及紫外光

谱法(UV)、红外光谱法(IR)、质谱法(MS)、核磁共振法(NMR)和 X 射线衍射法等。其中, 色谱法为主流方法, 尤其是 HPLC、TLCS 和 GC 已成为公认的 3 种常规分析手段。

(2) 多元统计分析法

传统的多元统计方法是目前土壤与地下水污染同源性分析研究和实践中的常用方法。这类方法通过识别具有相似分布特征的污染物来定性判定某些污染物的来源, 即假设来自于同一污染源的污染物之间具有相关性。传统多元统计方法不需要提前对污染源进行调查分析, 但是其筛选出的公共因子与污染源之间的关系常具有一定的主观性且难以区分出相似的污染源; 此外, 该方法需要大量的样品且需借助统计分析软件, 对于污染源数目较多的体系其计算比较繁琐。应用于同源性分析中多元统计分析方法主要有相关性分析、聚类分析、因子分析、主成分分析等。

相关性分析是用于统计分析不同变量之间是否具有某种共同变化关系的方法。不同污染物间的相关性可用于反映这些污染物的来源及迁移途径, 如果污染物间没有相关性, 则表明这些污染物并不是受单一因素的影响。Pearson 相关系数是土壤与地下水污染同源性分析中常用的相关性分析方法。

聚类分析法(CA)是根据不同污染物间的相似程度找出两种或两种以上能够衡量不同污染物间相似程度的变量, 然后以这些变量为分类依据, 对污染物间的相关程度进行分类, 采用聚类树状图形象地反映污染物之间的远近关系。

因子分析法(FA)可以将一系列具有复杂关系的变量归结为少数几个综合因子, 该方法将土壤与地下水中各污染物的含量值或浓度值看作是各种污染源贡献的线性组合, 然后根据受体样品各化学成分之间的相关关系, 从各数据集合中归纳出公因子(又称主因子), 然后由此计算出各个因子载荷, 结合因子载荷情况和污染源的的特征元素定性推断出各因子可能代表的污染源类型。

主成分分析法(PCA)与 FA 既存在联系, 又不完全相同, 它是将初始因子载荷矩阵通过正交旋转变换进行“降维”, 再根据各变量载荷情况结合源特征元素来识别主因子, 获得其主因子得分。这种传统的 PCA 法不能定量解析污染源的贡献, 改进后的主成分分析/绝对主成分得分(PCA/APCS)受体模型在 PCA 的基

基础上,得到归一化的污染物浓度的因子分数 APCS,再用污染物浓度数据对 APCS 做多元线性回归得到相应的回归系数,该回归系数可将 APCS 转化为每个污染源对每个样本的浓度贡献。改进后的 PCA/APCS 不需要事先了解污染源的个数及其特点,不但可以定量确定每个变量对每个源的载荷,还可以定量确定污染源对其污染物的平均贡献量和在每个采样点的贡献量。

(3) 同位素方法

应用于源性分析中的同位素技术主要为同位素比值法,该方法基于同位素的质量守恒原理,利用不同污染源中某种元素不同同位素比值具有差异性的特点,通过测定受体样品中相应同位素的组成来对污染物的来源及贡献程度进行定量区分。由于元素同位素受后期地质地球化学作用影响小且该方法精确度高、需要的样品量少、具有较高的辨别能力,目前已有 Pb、Cd、Cu、Zn、Hg、Cl、C、H 等多种同位素被用于土壤与地下水污染的同源性分析研究。相对而言,同位素比值法能较准确区分不同污染源的贡献值,但只能针对特定的元素进行溯源,且也需要收集各个排放源样品的相关同位素特征值,该方法样品处理与分析复杂、昂贵,不适于大量样品的分析。

2.3.3 恢复方案制定和损害价值量化

损害价值量化主要有两种方式,对于受损生态环境能够恢复的情况,通常是基于恢复方案实施费用对损害进行价值量化;对于受损生态环境无法恢复或者不需要恢复的情况,通常是基于经济价值评估方法进行损害价值量化。

对于受损土壤和地下水而言,如果污染物导致的人体健康风险超过可接受水平,就需要进行修复,因此,修复方案的决策及其费用的估算是土壤和地下水损害价值量化的关键环节。

土壤地下水恢复方案的制定通常是基于技术的有效性、可获得性、经济性、周期、可接受度等,需要综合考虑政府(或土地管理者)、污染责任方、修复实施方、公众等多个利益相关方的意见,技术的筛选是否合理可能存在争议。目前广泛采用的焚烧、填埋、抽出处理等技术存在成本高、拖尾效应或无法彻底清除污染等问题,一些新型修复技术则多停留在研究、中试、示范应用层面,未进行大规模推广应用,导致损害恢复决策范围受限。此外,如何克服决策者的主观意

识，也是修复技术筛选和方案制定的难点。研究表明，修复决策阶段，可以基于可拓理论、灰色理论等处理评价过程的模糊性，利用概率推理算法、逼近理想解法等降低修复技术筛选的不确定性，或综合考虑多个利益相关者的意见进行决策。O'Malley 和 Vesselinov 基于信息差距决策理论，预测采取不同修复策略条件下的污染物浓度，比较不同修复策略的稳健性，从而做出修复决策，提高技术筛选和方案制定的合理性，降低费用估算的不确定性。此外，博弈论是一种根据信息分析及能力判断，研究多个决策主体之间行为相互作用及其相互平衡，以使收益或效用最大化的一种对策理论，也有研究者将其用于资源定价、生态补偿、环境税、环境健康评价、棕地治理等多个生态环境保护领域的决策研究，可用于修复技术决策的研究。

修复方案涉及系统安装、设备、材料、能源、人力等多种投入，且不同的修复技术对应的工程元素差异很大，因此，修复费用估算难度大，目前损害评估对于恢复费用的测算存在两个问题：（1）未开展详细的环境调查，就给出环境修复费用作为行政磋商或司法审判的依据，导致实际修复费用不足或超出应赔偿数额；（2）现有技术规范给出的修复技术实施成本推荐值区间值较宽，生态环境损害赔偿数额的不确定性较高。在美国的超级基金实施过程中发现，最初对于污染场地修复成本的估算远低于实际的投入，导致后来超级基金的资金出现空缺，每年依靠财政拨款进行维持。在美国环保署 2004 财年对超级基金计划的预算申请中，一般财政拨款占到了 80%。此后，污染场地业主和咨询公司开始寻求方法对成本估算和管理进行优化，以确保可得利益。美国环保署于 1996 年发布文件，强调成本在超级基金修复方案决策中的核心作用。美国环境署、美国陆军工程兵团、美国能源部、美国国防部等根据长期致力于污染场地修复积累的经验，研究了修复费用的估算方法，并制定了一些相应的指南规范，包括《Cost Estimating Tools and Resources for Addressing Sites under the Brownfields Initiative》《A Guide to Developing and Documenting Cost Estimates During the Feasibility Study》等。修复费用估算的方法很多，且有很多已经被标准化，如对比分析法、项目估算法、参数模拟法、模型法等。基于可获取信息的情况，可以将估算分为三级：1）场地特定的成本估算，即根据具体场地的修复费用组成和单位成本估算总费用；2）

基于类似场地的平均成本估算，依赖于费用和相关影响因素或参数之间的统计学或模型关系，根据所掌握的类似场地的有关修复技术或工程费用的知识估算其它场地的费用，或进行放大缩小使其适应特定场地的条件，包括参数法和模型法；3) 基于文献或已有记载估算，它们通常以与待分析场地类型（例如加油站、矿区、木材加工厂、炼油场地等）、污染物或修复阶段（例如修复调查/可行性研究，修复设计）相关的大量场地/修复措施的费用为基础。

另一难点问题是基于经济价值评估方法对土壤和地下水损害价值进行量化。土壤和地下水环境资源价值包括两个部分，一是土地和地下水资源本身的价值，二是赋存于土壤和地下水的自然资源和生态服务价值。关于土地本身价值的确定，理论方法有级差地租理论、土地价值论、区位论、市场理论等，价值的实现方法主要包括收益还原法、市场比较法、成本逼近法、假设开发法、模型法、基准地价修正法和影子价格法等。针对不同类型土地的生态系统服务功能价值核算，国内外已经开展了较为深入的理论研究。1997年，Costanza等首次对全球生态系统服务进行评估，并提出了包括17个评估指标在内的生态系统服务分类。2001年，联合国发起的千年生态系统评估将生态系统服务归纳为供给服务、调节服务、文化服务和支持服务4个功能类别。在充分借鉴国际核算经验的基础上，我国学者也进行了积极探索，欧阳志云、谢高地、傅伯杰等学者先后构建了我国生态系统服务评估指标体系。国家先后发布了《荒漠生态系统服务评估规范》（LY/T 2006-2012）、《自然资源（森林）资产评价技术规范》（LY/T 2735-2016）、《森林生态系统服务功能评估规范》（GB/T 38582-2020）等规范导则，推动了森林和荒漠等生态系统服务的评估进程。

3 标准主要技术内容

3.1 适用范围

这部分规定了本标准的适用范围。由于土壤介质中的污染物很可能向地下水中迁移，地下水中的污染物也可能通过地下水水位面的变化污染包气带土壤介质，对生态环境造成损害，土壤和地下水环境损害鉴定评估不可分割，因此，本标准适用范围确定为涉及土壤和地下水的生态环境损害鉴定评估。

由于核与辐射所致环境损害的特殊性、复杂性和敏感性，《土壤和地下水指南》的制定过程中，没有考虑核与辐射的相关内容。因此，《土壤和地下水指南》不适用于因核与辐射所致土壤与地下水环境损害的鉴定评估。

凡是涉及土壤与地下水的生态环境损害案件，包括在农用地、建设用地和未利用地上发生的涉及土壤与地下水的生态环境损害案件，无论引起损害的原因是突发环境事件、历史遗留工业污染、固体废弃物/废水倾倒和长期累积排放，还是生态破坏事件，其损害评估均适用本标准。

3.2 术语和定义

为了使技术标准内容易于理解和应用，《土壤和地下水指南》对土壤、地下水、环境敏感区、评估区、健康风险评估、概念模型、迁移路径、受体、土壤与地下水生态服务功能、基线水平、环境修复、生态恢复、理论治理成本 13 个关键术语进行了定义。

(1) 土壤

土壤是指地球表面的一层疏松的物质，由各种颗粒状矿物质、有机物质、水分、空气、微生物等组成，能生长植物。土壤由岩石风化而成的矿物质、动植物、微生物残体腐解产生的有机质、土壤生物（固相物质）以及水分（液相物质）、空气（气相物质）、氧化的腐殖质等组成。

固体物质包括土壤矿物质、有机质和微生物通过光照抑菌灭菌后得到的养料等。液体物质主要指土壤水分。气体是存在于土壤孔隙中的空气。土壤中这三类物质构成了一个矛盾的统一体。它们互相联系，互相制约，为作物提供必需的生活条件，是土壤肥力的物质基础。

土壤可以分为砂质土、黏质土、壤土三类，均是损害鉴定评估需关注的土壤类型。

(2) 地下水

地下水是指赋存于地面以下岩石空隙中的水，狭义上是指地下水水面以下饱和含水层中的水。在国家标准《水文地质术语》（GB/T 14157-93）中，地下水是指埋藏在地表以下各种形式的重力水。

国外学者认为地下水的定义有三种：一是指与地表水有显著区别的所有埋藏在地下水的水，特指含水层中饱水带的那部分水；二是向下流动或渗透，使土壤和岩石饱和，并补给泉和井的水；三是在地下的岩石空洞里、在组成地壳物质的空隙中储存的水。

地下水是水资源的重要组成部分，由于水量稳定，水质好，是农业灌溉、工矿和城市的重要水源之一。但在一定条件下，地下水的变化也会引起沼泽化、盐渍化、滑坡、地面沉降等不利自然现象。

损害鉴定评估工作中，一方面应关注污染或破坏行为引起的水质变化，另一方面应关注上述行为引起的地下水生态服务功能变化或次生环境地质破坏等问题。

(3) 环境敏感区

“环境敏感区”一词早期来源于环境影响评价工作中确定环评类别时需调查考虑的因素，《建设项目环境影响评价分类管理名录》（环境保护部令 第 44 号）第三条指出：本名录所称环境敏感区是指依法设立的各级各类保护区域和对建设项目产生的环境影响特别敏感的区域，主要包括生态保护红线范围内或者其外的下列区域：

①自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区；

②基本农田保护区、基本草原、森林公园、地质公园、重要湿地、天然林、野生动物重要栖息地、重点保护野生植物生长繁殖地、重要水生生物的自然产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道、天然渔场、水土流失重点防治区、沙化土地封禁保护区、封闭及半封闭海域；

③以居住、医疗卫生、文化教育、科研、行政办公等为主要功能的区域，以及文物保护单位。

土壤与地下水环境损害鉴定评估工作中的环境敏感区识别是十分必要的，损害类型确定及损害情况的确认往往取决于所识别出的环境敏感区类型及其提供的生态服务功能。

(4) 评估区

环境损害事件发生后，需优先通过资料收集分析、现场踏勘等手段，确定可能受事件影响的土壤与地下水相关范围，其范围主要包括损害行为发生的主要区域、损害发生的路径、受损的环境介质等，一般情况下，除环境背景信息调查外，所有的现场调查、地质勘探、采样监测、生物观测等行为均应围绕评估区开展，根据评估区获取的调查数据，确定评估区是否受到损害，进而评估其损害范围和程度，进行损害价值量化。评估区的划定应尽量准确，既不能因过于保守而大幅扩充评估区范围导致鉴定评估的工作量和工作难度增加，也不能因潜在受损区识别不充分而遗漏可能受损害事件影响的区域。随着调查工作的开展，必要时可对评估区范围进行一定程度的调整以提高评估的针对性和精确度。

(5) 健康风险评估

世界卫生组织（World Health Organization, WHO）、美国环境保护局（United States Environmental Protection Agency, USEPA）等机构早在 20 世纪 70 年代已开始进行环境健康风险评估相关工作，并发布了多种类型的环境健康风险评估指南，对于化学物和其他污染物的环境健康风险有较为完整的评估体系。我国环境健康风险评估相关指南编制工作起步较晚，21 世纪初，我国的卫生健康部门和环境保护部门才开始有环境健康风险评估方面的指南发布，目前尚未建立起环境健康风险评估指南体系¹。

目前，基于“四步法”的健康风险研究应用最为广泛，被应用于不同污染物、不同暴露途径、不同暴露人群的健康风险研究²，因此，土壤与地下水健康风险评估方法主要为“四步法”，即危害识别、暴露评估、剂量-效应评估、风险表征。损害鉴定评估工作中的健康风险评估工作目的在于确定当前受损的环境介质中污染物浓度水平是否会对受体造成影响或存在风险，根据评估结果确定是否需要开展生态环境修复行动或风险防控措施。

(6) 概念模型

¹ 张翼,王情,王苏玮,朱迅,孙庆华,李湑湑.国外环境健康风险评估指南体系调研[J].环境与健康杂志,2019,36(12):1042-1046.

² 李鹏,张波,王玮,高培.基于“四步法”的健康风险评价研究进展[J].中国人口·资源与环境,2016,26(S1):553-556.

根据《污染场地术语》(HJ682-2014), 场地概念模型是指用文字、图、表等方式来综合描述污染源、污染迁移途径、人体或生态受体接触污染介质的过程和接触方式。总的来说, 场地概念模型包括了与污染场地有关的所有数据和信息, 涉及的信息包括了场地的基本信息, 地质、水文地质条件, 污染来源、历史、分布、程度、迁移途径, 可能的污染暴露介质、途径和潜在的污染受体。从场地概念模型的定义和其包含的内容可以看出, 场地概念模型是对整个污染场地的集中反映。因此, 土壤与地下水损害鉴定评估工作中概念模型的建立可以充分反映评估区的历史、现状和未来情况, 在不同的评估阶段, 建立不同程度的概念模型也可以充分指导下阶段的调查评估工作, 也是成果展示的一种重要手段。

(7) 迁移路径

迁移, 指污染物在环境中分配、溶解、挥发、吸附等物理过程, 其间, 污染物的结构不发生变化, 迁移路径的识别就是分析上述过程中污染物在环境介质中的分布变化情况。确定迁移路径是土壤与地下水损害因果关系判定中的重要内容, 需通过调查分析识别出污染物自污染源至损害受体之间完整、明确、合理的迁移路径。例如, 土壤中的污染物主要来源于污水沉积物、大气干湿沉降、固体废弃物的堆放、污染物的排放及跑冒滴漏等; 地下水中的污染物主要来源于地表、裂隙、包气带下渗或侧向补给入渗, 以及直接排入等。进入土壤与地下水中的污染物, 通过与土壤介质或含水介质发生物理化学以及生物作用进行迁移和转化。在识别迁移路径过程中, 需要注意污染物的转化情况, 即污染物发生光降解、水解、氧化还原和生物降解、富集等生物化学过程, 导致污染物的结构和种类发生变化, 对损害范围确定等过程带来影响。

(8) 受体

土壤与地下水损害鉴定评估中的受体可以分为环境受体和生态受体。

环境受体主要指环境介质本身, 如土壤介质与含水层介质在损害行为发生后所出现的不利改变。

生态受体是指暴露于环境污染物胁迫下的生态实体。它可以指生物体的组织、器官, 也可以指种群、群落、生态系统等不同生命组建层次³。

³周健民. 土壤学大辞典: 科学出版社, 2013.10

(9) 土壤与地下水生态服务功能

生态系统服务定义为人类可以从生态系统获取的益处。生态系统服务功能被分为四类，分别是供给服务、调节服务、文化服务和支持功能。

供给服务是指生态系统向人类提供产品的服务，调节服务指从生态系统管理中获取的益处，支持服务是指其他生态服务实现的必要条件，文化服务是指人类从生态系统中可获取的非物质性的益处。

生态学上广为接受的土壤生态系统功能包括：①生物生产；②物质(包括养分、水和污染物)储存、过滤和转化；③生境、物种和遗传多样性保持；④自然和文化环境维持；⑤提供矿物等原材料；⑥碳库及其循环；⑦历史遗迹存留。

如果生态系统服务是人类社会通过这些土壤功能而得到的收益，那么土壤的生态服务可以理解为对生物生产、生境、物种和遗传多样性的支撑服务，提供养分、水和矿物质原料的供应服务，对水、碳循环及和温室气体排放的调节服务和土壤景观、历史和文化遗迹保存的文化服务。

地下水生态系统不同于地表以上的各类生态系统，它具有特定环境的循环系统，受天然因素和人类活动影响所控制。在其内部及其与环境不断地进行着物质交换和迁移、能量转换和运输及信息贮存与传递等，包含在有生命和无生命的环境间的各种作用中。地下水生态系统还是联系着生物圈、大气圈、岩石圈的纽带。

(10) 环境修复

在环境学领域，环境修复是指对被污染的环境采取物理、化学及生物学技术措施，使存在于环境中的各类污染物浓度减小或毒性降低或达到无害化，使得环境能够部分或全部恢复到无污染的初始状态。土壤与地下水环境损害鉴定评估工作中所涉及的环境修复行为一方面用于实际修复方案及修复工程设计，旨在将人体健康风险或生态风险降至可接受风险水平，另一方面以计算修复成本的方式，确定生态环境损害价值量。

(11) 生态恢复

生态恢复是指帮助恢复和管理生态完整性的过程，生态完整性包括生物多样性、生态过程和结构、区域和历史关系以及可持续文化实践的变异性的关键范围

4. 生态恢复是对生态系统停止人为干扰, 以减轻负荷压力, 依靠生态系统的自我调节能力与自组织能力使其向有序的方向进行演化, 或者利用生态系统的这种自我恢复能力, 辅以人工措施, 使遭到破坏的生态系统逐步恢复或使生态系统向良性循环方向发展; 主要指致力于那些在自然突变和人类活动影响下受到破坏的自然生态系统的恢复与重建工作。

(12) 理论治理成本

在环境损害治理成本计算过程中, 往往由于剂量—反应关系研究的局限性, 对环境损害价值量的计算多采用理论治理成本法。其含义为: 生产和消费过程中所排放的污染造成了环境质量的降低, 为把环境质量恢复到期初水平而需要支付的成本。

3.3 工作程序

根据《总纲》对生态环境损害鉴定评估总体工作程序的要求, 结合我国土壤与地下水生态环境损害鉴定评估实践经验及评估工作的特点, 将土壤与地下水生态环境损害鉴定评估工作划分为鉴定评估准备、损害调查确定、因果关系分析、土壤与地下水损害实物量化、土壤与地下水损害恢复或价值量化、土壤与地下水损害鉴定评估报告编制、土壤与地下水恢复效果评估 7 个阶段。对于不同的评估区、不同的委托目的及事项、不同的评估条件, 可结合评估工作的实际需要, 选择性地执行本标准中的程序。

3.4 鉴定评估准备

鉴定评估准备阶段主要是通过资料收集、现场踏勘、人员访谈问卷调查、现场踏勘、现场快速检测等方式, 获取评估工作所涉及的土壤与地下水环境及其生态服务功能的基本信息, 是后期损害鉴定评估工作的基础和前提。污染源相关信息主要是为后续损害评估范围界定、因果关系分析等提供基础数据。污染过程相关信息主要是为后续特征污染物识别、损害调查指标确定、迁移途径分析等提供

⁴ 包维楷, 刘照光, 刘庆. 生态恢复重建研究与发展现状及存在的主要问题[J]. 世界科技研究与发展, 2001, 23(001):44-48.

依据。前期处理处置相关信息主要是为后续损害评估范围确定、恢复方案制定、应急处置费用核算等奠定基础。历史和现状监测相关信息主要是为后续基线调查和损害现状调查方案制定提供支撑。自然环境与社会经济信息收集则是为后续损害调查点位布设、因果关系分析、恢复目标制定和恢复方案设计提供基础数据。

此外，鉴定评估准备阶段还应当制定初步的工作方案，并在方案中明确调查评估的对象，并确定每一种对象的调查评估范围，包括空间范围和时间范围。同时，应根据损害的基本情况以及鉴定评估委托事项，明确要开展的损害鉴定评估工作内容，设计工作程序，通过调研、专项研究、专家咨询等方式，确定每一项鉴定评估工作的具体方法。

3.5 土壤与地下水损害调查确定

涉及土壤和地下水的环境损害案件通常需要开展损害调查工作，通过损害现状与基线水平的比较，确定土壤与地下水环境及其生态服务功能是否受到损害。这一阶段需要进行土壤地下水环境及其生态服务功能现状调查和基线调查，分别对评估区和对照区土壤地下水进行采样分析检测或对评估区和对照区土壤地下水生态服务功能进行调查。为了合理布设评估区和对照区调查点位及调查深度，需对评估区及其周边区域水文地质条件有清晰的了解，如果前期评估准备阶段未收集到可用的水文地质资料或者收集的水文地质资料不足以支撑基线和损害调查点位和深度的设计，则需要开展必要的地质和水文地质调查。因此，本部分内容包括地质和水文地质调查、土壤和地下水污染状况调查、土壤地下水生态服务功能调查、基线水平调查。

3.6 土壤与地下水损害因果关系分析

土壤与地下水损害因果关系判定是土壤与地下水损害鉴定评估工作的难点，对于污染源不明或污染源有争议的损害事件，通常需要开展因果关系分析。污染环境行为与损害之间的因果关系分析可划分为两个阶段，分别为污染源解析、迁移路径调查与分析。本标准介绍了污染源解析可能用到的主要方法，包括指纹图谱、统计分析、同位素分析等方法。通过上述方法识别了污染来源后，还需要对

污染物迁移路径及其连续性进行分析，进一步确定因果关系。必要时还可利用示踪技术对迁移路径进行验证，进一步强化因果关系判定的依据。标准也给出了污染环境行为与损害之间因果关系以及破坏生态行为与损害之间因果关系分析的基本原则。

3.7 土壤与地下水损害实物量化

损害实物量化包括损害程度量化和损害范围量化两部分。存在两种情形，一种为涉及污染的情形，这种情况可以以土壤或地下水中污染物浓度作为量化指标，另一种为涉及生态系统服务功能损害的情形，可以以指示性生物的种群特征、群落特征、生态系统特征、地下水资源量、旅游人次等作为量化指标。对于涉及污染的土壤、地下水损害程度量化，主要是分析单个点位特征污染物浓度超过基线水平的比例，损害范围量化主要是分析特征污染物浓度超过基线水平的点位所覆盖的水平和垂向空间范围。在确定损害范围时，不仅需要考察现状条件下污染物的分布范围，还要考虑在污染物浓度恢复至基线水平的时间内，污染物可能的迁移扩散范围。对于涉及生态系统服务功能损害的量化，主要是分析单个点位或区域指示性指标超过基线水平的比例，损害范围量化主要是分析指示性指标超过基线水平的点位和区域所覆盖的水平和垂向空间范围。

3.8 土壤与地下水损害恢复或价值量化

涉及土壤与地下水的损害案件，应优先基于恢复费用评估损害，其次才是基于经济价值评估方法评估损害。本节主要介绍基于替代等值分析方法制定受损的土壤和地下水及其生态服务的基本恢复、补偿性恢复和补充性恢复方案的相关要求，以及在恢复方案不可行的情况下，如何通过环境价值评估方法计算损害。恢复方案制定部分介绍了土壤与地下水损害恢复目标确定、恢复技术筛选、恢复方案确定、恢复费用计算等环节的程序和方法。恢复目标确定部分将受损土壤地下水修复与现有的土壤地下水环境管理制度做了衔接，即如果污染物浓度水平没有造成不可接受的风险，则不需要开展实际修复，可以采用经济价值评估方法对损

害进行价值量化，包括理论治理成本法、虚拟治理成本法、基于土壤/地下水资源价值的损害量化方法，并明确了三种方法的使用情形。

3.9 土壤与地下水恢复效果评估

本节主要给出了土壤与地下水恢复效果评估的相关要求。土壤和地下水恢复效果评估，一般应与恢复工程实施同步开展，以评估恢复工程是否使土壤和地下水环境质量和生态系统服务功能恢复过程是否合规，以及结果是否达到了设定的目标。恢复效果评估可以综合运用监测和采样分析、现场踏勘、分析比对、问卷调查等方法。涉及土壤修复的案件，布点采样和数据分析相关方法可参照《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则（试行）》（HJ 25.5）执行。涉及地下水修复的案件，布点采样和数据分析相关方法可参照《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6）执行。

3.10 附录

《土壤和地下水指南》共提出了三项资料性附录，附录 A 主要为常用的土壤恢复技术与风险防控技术列表，包括各技术适用的目标污染物、适用条件、成本、技术成熟度、技术可靠性、单位污染土壤恢复时间、二次污染和破坏、技术功能及恢复的可持续性；附录 B 主要为常用的地下水恢复技术与风险防控技术列表，包括各技术的目标污染物、适用条件、费用、技术成熟度、技术可靠性、恢复时间、二次污染和破坏、技术功能及恢复的可持续性；附录 C 主要为评估报告编制要求，包括概述、土壤与地下水损害确定、土壤与地下水损害实物量化、土壤与地下水损害恢复或价值量化、土壤与地下水恢复效果评估、鉴定评估结论等章节的内容和要求。

4 对实施本标准的建议

本标准是专门针对涉及土壤与地下水的生态环境损害鉴定评估制定的，为指导我国频发发生的突发环境事件、历史遗留工业污染、固体废弃物/废水倾倒和长期累积排放事件、生态破坏事件土壤与地下水损害评估工作的开展具有重要的

现实意义。同时，土壤、地下水环境损害鉴定评估与土壤、地下水环境管理具有紧密的联系，相关部门之间应进一步理顺联动工作机制，加强对于评估技术方法、关键难点问题的研讨，不断完善管理制度和技术体系。为了保证本标准的实施，建议环保部门、科技部门加强对土壤与地下水生态环境损害鉴定评估技术方法研究的支持力度，为环境损害赔偿、公益诉讼、司法审判等提供更有力的技术支撑。建议加大标准的宣传，扩大标准的影响力，促进标准在科研、司法实践以及其他领域的应用。本标准是第一次发布，还有诸多不完善的地方，建议在实践中不断修订完善。本标准主要针对涉及土壤与地下水的损害鉴定评估，在应用时要注意与传统的土壤地下水污染调查修复的区别，此外，污染清理、环境修复和生态恢复以及生态功能和生态服务功能等概念易于混淆，在标准应用时应注意其内涵的区别。

（1）土壤和地下水环境损害鉴定评估与土壤和地下水环境修复的主要区别

土壤、地下水生态环境损害鉴定评估与环境修复既有区别又有联系。两者都是建立在调查的基础上，前者提出基于生态环境恢复的损害鉴定评估结论，后者提出修复技术方案。从工作目标来看，土壤与地下水环境损害鉴定评估以赔偿污染或破坏导致的生态环境资源损失为目标，环境修复以消减土壤与地下水污染对人体健康和环境产生的风险为目标；从工作内容来看：土壤与地下水环境损害鉴定评估包括污染物性质鉴定、损害类型程度界定、因果关系分析、恢复方案设计或损害货币化、恢复效果后评估等，环境修复主要包括土壤与地下水调查、风险评估、修复方案设计与工程实施等内容；从恢复手段来看，土壤与地下水环境损害恢复方案包括人工恢复和自然恢复，并根据替代等值恢复原则进行筛选，环境修复则以人工修复为主要手段；从工作阶段来看，土壤与地下水环境损害鉴定评估涉及污染清理、基本恢复、补偿性恢复以及补充性恢复，环境修复仅包括污染清理与基本修复；从决策因素来看，土壤与地下水环境损害鉴定评估的决策包括综合性恢复方案（主要指基本恢复和补偿性恢复方案时间与成本的比选）与具体恢复技术两个层面的决策比选，涉及技术可行性、恢复技术成本、恢复技术时间、恢复期间损失、生态恢复功能以及利益相关方的满意度等因素；环境修复决策因

素仅涉及具体修复技术的比选，主要考虑技术可行性、修复技术成本和修复技术时间。

（2）相关术语和概念的辨析

1) 污染清理、环境修复和生态恢复

在应对涉及土壤和地下水的环境事件时通常会经历污染清理、环境修复和生态恢复三个阶段，这三个阶段可能独立发生，也可能后者涵盖前者或相互重叠，因此，《编制说明》对这三个术语予以说明。

污染清理通常发生在应急处置阶段，一般以污染物急性毒性筛选值为控制目标，为防止污染物扩散迁移、保障人体健康和生态安全而采取的临时性的控制并清除污染物的措施，其目的是快速减轻污染对人体健康或生态系统的危害。环境修复通常指应急终止后，为进一步阻隔污染、降低环境中污染物浓度，将环境污染引发的人体健康或生态风险降至可接受风险水平而开展的必要的、合理的行动或措施，一般以环境质量标准、慢性暴露风险基准值或风险筛选值为控制目标。生态恢复是指采取必要的、合理的措施将生态环境及生态系统服务恢复至基线水平，并针对期间损害制定替代性恢复方案，最终保证被恢复区域生态环境的稳定、健康和可持续性。生态恢复重在重建或恢复受损生态系统的功能和服务，根据受损生物或生态系统的特点，可以分为个体、种群、群落、生境和生态系统等不同水平的恢复。生态恢复模式与技术的确定要考虑受损类型和程度以及当地的地形地貌、气候条件、排水、植被情况以及人文环境，结合自身系统特征及退化影响因素综合确定。

2) 生态功能和生态服务功能

生态系统功能和生态系统服务是两个既有联系又有区别的概念，《土壤和地下水指南》中采用了“生态服务功能”而没有采用“生态功能”的概念，其原因在于：生态功能指与生态系统维持其完整性（如初级生产力、食物链、生物地球化学循环）的一系列状态和过程相关的生态系统的内在特征，包括分解、生产、养分循环以及养分和能量的通量变化等过程；生态服务指对人类生存及生活质量有贡献的生态系统产品和生态系统功能，包括供给服务、调节服务、文化服务以及支持服务。可以认为生态功能更强调生态系统本身所具有的特性与过程，而生

态服务更强调生态系统因为生态功能的客观存在而产生的能够为人类所受益到的产品与效用，包括供给服务、调节服务、文化服务以及支持服务。生态功能可以认为是生态系统的效用存量，生态服务可以认为是生态系统的效用流量，生态服务的实物量与价值量目前都有比较成熟的计算方法，因此，《土壤和地下水指南》统一采用了生态服务功能的概念。

在各项生态服务中，供给服务指生态系统在一定时间内提供的各类产品的产量；调节服务指生态系统调节气候、水文、生化周期、地表过程以及各种生物过程的能力，包括调节气候、调节水文、保持土壤、调蓄洪水、降解污染物、固碳、花粉传播、有害生物的控制、减轻自然灾害等；文化服务指从生态系统的物理环境、位置等获得的娱乐、文化、精神思考等方面的知识和象征性利益的情况；支持服务指维持供给、调节和文化等其他生态系统服务所必需的基础功能，比如地形地貌维持、营养物质循环等。目前关于支持服务是否计入生态服务以及支持服务或支持功能的内涵还存在争议，调节、文化和支持服务的实物量和价值量化方法均存在一定的不确定性，因此，《土壤和地下水指南》提出尽量采用替代等值分析法直接实施生态环境恢复方案，减少鉴定评估结果的不确定性。