

ACEF

中华环保联合会团体标准

T/ACEF×××-××××

污染场地可持续风险管控区划技术指南

Technical Guidelines for Contaminated Site Classification Based on Sustainable Risk Management and Control

(征求意见稿)

××××-×-×发布

××××-×-×实施

中华环保联合会 发布

目 录

前 言	1
1 适用范围	2
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	3
4 区划程序	5
4.1 指标选取	5
4.2 资料收集	6
4.3 数据处理	6
4.3.1 场地尺度风险项	6
4.3.2 区域尺度风险项	7
4.4 技术方法	8
4.4.1 风险指标量化方法	8
4.4.2 效益指标量化方法	10
4.4.3 区划分级	17
附录 A 污染场地可持续风险管控区划指标	18
附录 B 归一化方法	20
附录 C 污染扩散系数	21
附录 D 污染损失率	23
附录 E 特征价格模型 (HPM)	29
附录 F 旅行费用法调查问卷	30
附录 G 单位面积生态系统服务价值当量表	31

前 言

现阶段，我国场地污染与生态环境保护形势依旧严峻，对构建土壤污染防治可持续风险管控核心理论体系和技术方法提出了紧迫的现实需求。为深入贯彻落实《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国土壤污染防治法》、《土壤污染防治行动计划》等法律法规和有关污染场地可持续风险管控的方针、政策，2020年，科技部启动了“污染场地风险管控机制与经济政策技术体系研究”国家重点研发计划，设立“污染场地管控区划与规划技术工具研究”专项课题，围绕场地风险管控实际需求开展管控区划和规划基础理论、技术方法及交互决策机制等研究。该项工作对于加强不同利益相关方决策信息交流，提高风险管控效率效益和可持续水平，打赢打好土壤污染防治攻坚战和建设美丽中国具有重要意义。

为规范可持续指标约束下我国污染场地风险管控区划的工作程序、实施内容和技术方法，编制本指南。

本指南由生态环境部环境规划院组织制订。

本指南主要起草单位：生态环境部环境规划院、中国科学院生态环境研究中心、北京师范大学。

本指南主要起草人：李笑诺、易诗懿、陈卫平。

本指南由×××××批准，自××年××月××日实施。

本指南由×××××解释。

1 适用范围

为规范可持续指标约束下我国污染场地风险管控区划的工作程序、实施内容和技术方法，编制本指南。本指南适用于场地和区域不同尺度上污染土壤风险管控区划工作和土壤污染分区分级分类管理的技术指导，主要包括土壤污染风险评价和土壤污染风险管控效益分析两部分内容。

开展可持续风险管控区划工作除符合本技术指南要求外，还应符合国家现行相关标准的规定。

2 规范性引用文件

本指南内容引用了下列文件中的条款。未注明日期的引用文件，其最新版本适用于本文件。

- (1) 中华人民共和国环境保护法，2015年1月1日；
- (2) 中华人民共和国土壤污染防治法，2018年8月31日；
- (3) 土壤污染防治行动计划，国发〔2016〕31号；
- (4) 关于发布2014年污染场地修复技术目录(第一批)的公告，公告2014年第75号；
- (5) 污染场地修复技术应用指南(征求意见稿)，环办函〔2014〕564号；
- (6) 土壤环境质量 农建设用地土壤污染风险管控标准(试行)，GB 36600—2018；
- (7) 建设用地土壤污染风险管控和修复术语(发布稿)，HJ 682—2019；

- (8) 建设用地土壤污染状况调查技术导则，HJ 25.1—2019；
- (9) 污染地块绿色可持续修复通则，T/CAEPI 26—2020；
- (10) 全国生态状况调查评估技术规范——生态系统服务功能评估，HJ1173—2021；
- (11) 建设用地土壤污染风险评估技术导则，HJ 25.3—2019；
- (12) 关于印发农用地土壤污染状况详查点位布设技术规定的通知（环办土壤函〔2017〕1021号）。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 建设用地 **land for construction**

指建造建筑物、构筑物的土地，包括城乡住宅和公共设施用地、工矿用地、交通水利设施用地、旅游用地、军事设施用地等。

3.2 污染场地 **contaminated site**

因堆积、储存、处理、处置或其他方式（如迁移）承载了有害物质的建设用地，对人体健康和环境产生危害或具有潜在风险的土壤和地下水空间区域。

3.3 风险管控 **risk management and control**

污染场地风险管控包括土壤污染状况调查和土壤污染风险评估、风险管控工程实施、风险管控效果评估、修复效果评估、后期管理等活动。

3.4 目标污染物 **target contaminant**

在地块环境中其数量或浓度已达到对生态系统和人体健康具有

实际或潜在不利影响的，需要进行风险管控的关注污染物。

3.5 敏感目标 potential sensitive targets

指地块周边可能受污染物影响的幼儿园、学校、居民区、医院、食用农产品产地、地表水体、集中式饮用水水源地、自然保护区等环境敏感保护对象。

3.6 可持续性评价 sustainability assessment

通过定性、半定量或者定量的方法，对管控方案或者管控过程涉及的具体措施进行综合评估，确定其环境、社会、经济影响，为管控过程中的决策提供科学的支撑。

3.7 生态系统服务 ecosystem services

生态系统为人类提供的防风固沙、土壤保持、水源涵养、生物多样性等方面的功能。

3.8 风险地图 risk map

用图形技术对根据风险指标计算得到的污染场地风险水平进行风险等级的空间可视化展示。

3.9 效益地图 value map

用图形技术对根据价值指标计算得到的污染场地再开发价值进行价值高低的空间可视化展示。

3.10 风险管控区划 risk management and control zoning

综合风险值和效益值量化结果，对风险管控的可持续发展水平进行不同等级划分。

4 区划程序

污染场地可持续风险管控区划工作程序如图 1 所示，包括指标选取、资料收集、数据处理和区划分级等 4 个阶段。

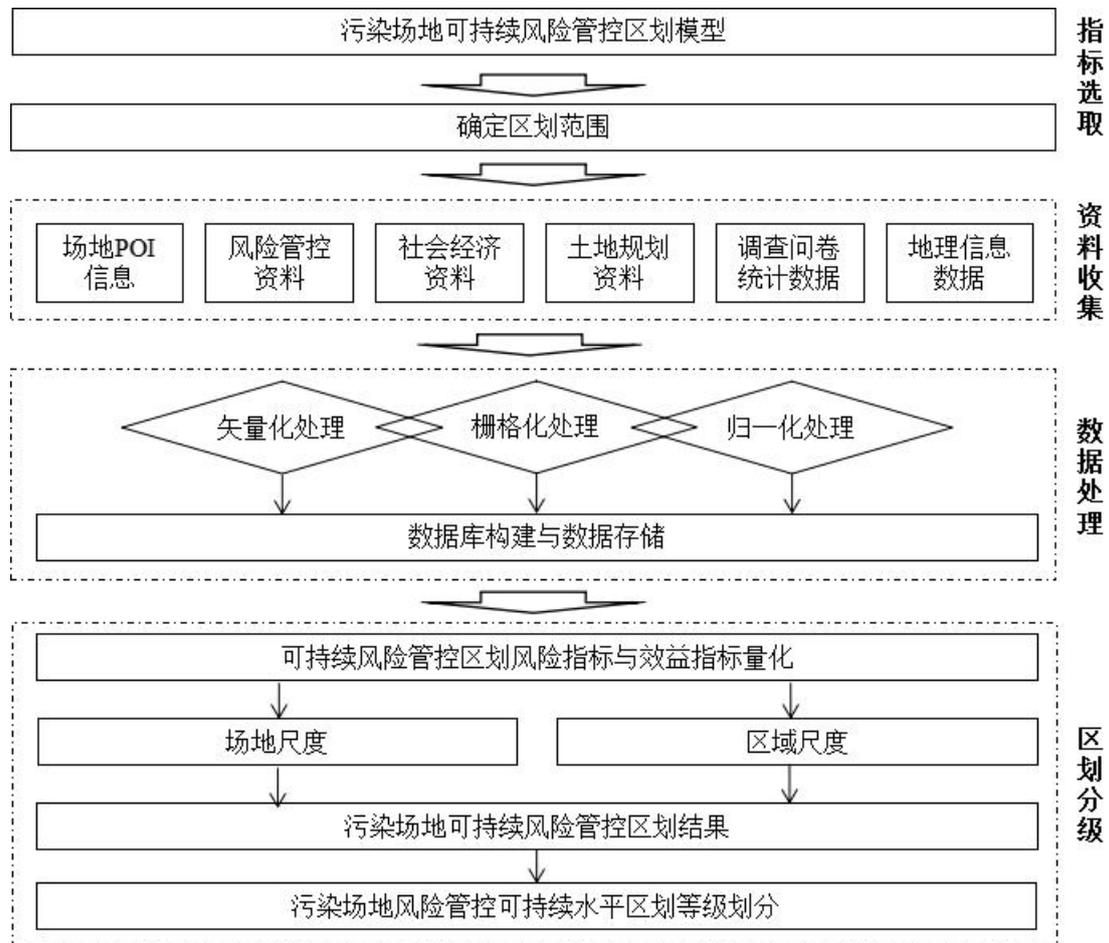


图 1 污染场地可持续风险管控区划工作程序

4.1 指标选取

基于可持续科学理论，衔接已有生态环境空间区划，融合可持续发展指标、场地风险因素、成本效益分析等构建适用于场地和区域不同层面的可持续风险管控区划指标体系。其中，风险指标基于“源-汇”关系，通过现有污染情况、风险受体脆弱性和污染源造成的潜在风险进行计算；效益指标从场地管控过程损失和管控后土地资源价值

两个方面进行核算。各风险指标和效益指标定义见附录 A。

4.2 资料收集

(1) 场地 POI 信息：收集场地相关基本信息，包括地块名称、行业类别、地理位置、经纬度坐标、周边敏感目标、目标污染物、周边重点在产企业情况等；

(2) 风险管控资料：收集污染场地风险管控相关资料，如调查与风险评估报告、管控方案和效果评估报告等；

(3) 社会经济资料：收集土地出让市场交易数据、邻里特征数据、区域特定行业在岗职工平均工资、公园年均净收益、环境保护资金投入、企业清洁生产投入等数据；

(4) 土地规划资料：收集污染场地经管控后进行土地再开发的规划资料，获取各类用地规划面积、规划容纳就业人数、规划用地各类生态系统面积等信息；

(5) 调查问卷统计数据：针对规划用途为公园绿地的场地，通过开展旅行价值问卷调查计算公园游憩价值；

(6) 地理信息数据：收集遥感数据和气象数据，为生态系统服务价值评估提供基础数据支撑，及空间制图所需的高分数据集。

4.3 数据处理

4.3.1 场地尺度风险项

(1) 人口密度项

从公共数据集获取人口密度栅格数据后，利用 ArcGIS 中的 Zonal Statistics as Table 分区统计工具计算地块周边 1km 缓冲范围内的人口

密度并归一化赋值，归一化方法参见附录 B。

(2) 敏感目标项

统计污染场地周边 1km 范围内的敏感点数量（学校、医院、社会福利设施用地）和生态功能区数量，进行归一化赋值。

(3) 污染现状项

根据污染场地风险评估报告统计土壤和地下水中的风险污染物种类，进行归一化赋值。

(4) 污染源强项

统计地块周边 1km 范围内的重点监管企业数量以及发生过重大环境污染事故或社会影响事件的企业数量，进行归一化赋值。

4.3.2 区域尺度风险项

(1) 人口密度项

将研究区划分为 1km×1km 的网格，利用 ArcGIS 中的 Zonal Statistics as Table 分区统计工具计算各网格内的人口密度并归一化赋值。

(2) 敏感目标项

将研究区划分为 1km×1km 的网格，将学校、医院、社会福利设施用地、生态功能区的坐标信息导入 ArcGIS，利用连接工具整合渔网、敏感点信息，最后利用汇总工具计算每个格网中的敏感点数量，进行归一化赋值。对土地覆盖数据集进行裁剪，提取研究区耕地面积数据并进行面积汇总，估算每个格网中耕地面积，进行归一化赋值

(3) 污染现状项

根据区域污染状况调查数据或采样实测数据，进行空间插值，将

污染物浓度的归一化值分配到 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 网格内。

(4) 污染源强项

将研究区划分为 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 的网格，①对路网数据进行裁剪、格式转化，进行路网密度（交通源）数据处理，最后进行归一化赋值；②对土地覆盖数据集进行裁剪，提取研究区耕地面积（农业源）数据并进行面积汇总，估算每个格网中耕地面积，最后进行归一化赋值；③扩散风险（工业源）：基于气象数据，以烟囱坐标为中心，随各个风向和各个风向的扩散距离进行扩散系数等距离自然衰减，最后对扩散系数进行归一化并在 ArcGIS 中赋值，得到各个格网中污染物的扩散风险；④对于农村生活燃煤源（生活源），利用农村居民点分布图进行源强表征。

(5) 污染损失率项

将研究区划分为 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 的网格，分别基于 RUSLE 模型的土壤侵蚀量估算结果、HYDRUS 1-D 模型模拟结果和富集系数计算结果，利用 ArcGIS 栅格计算器计算输出系数，通过栅格转面、相交、汇总工具计算每个格网中的输出系数并进行归一化赋值。

4.4 技术方法

4.4.1 风险指标量化方法

(1) 利用 ArcGIS 中 Zonal Statistics as Table 分区统计工具计算区划范围内人口密度。

(2) 借助第三方网络数据爬取工具以及高德开放平台服务支持

平台进行 POI 爬取, 获得区划范围内医疗卫生用地数量、中小学数量、社会福利数量。

(3) 根据区域国土空间生态规划等相关资料确定区划范围内生态功能区空间分布情况。

(4) 根据场地调查报告、风险评估报告等相关资料, 获取土壤和地下水污染物浓度及空间分布特征。

(5) 基于区域污染现状进行污染源解析分析, 获取主要污染源及贡献率, 利用 ArcGIS 叠加分析工具和汇总分析工具计算污染源排放强度与污染损失速率, 量化污染物潜在交叉风险指标。

最后, 基于各风险指标量化值, 分别计算地块和园区/区域内各网格风险综合系数。

场地尺度综合风险计算方法为:

$$S_R = S_s \times S_r \quad (\text{公式 1})$$

式中:

S_R ——地块综合风险系数;

S_s ——污染强度系数, 为在产企业污染、土壤污染和地下水污染三个指标归一化加权 (权重均设为 1/3) 求总和;

S_r ——受体脆弱性系数, 为人口、社会敏感点和生态功能区三个指标归一化加权 (权重均设为 1/3) 求总和。

区域尺度综合风险计算方法为:

$$IRC_{mj} = (\omega_{st} \times C_{mj} + \omega_{dy} \times PLI_{mj}) \times \sum (\omega_x \times R_{xj}) \quad (\text{公式 2})$$

$$PLI_{mj} = \sum_{i=1}^n \omega_{i,j} r_{i,j} - (k_{mj1} + k_{mj2} + k_{mj3}) / 3 \quad (\text{公式 3})$$

式中：

IRC_{mj} ——第 j 个网格内第 m 种污染物的综合风险系数；

ω_{st} 和 ω_{dy} ——现存污染风险和潜在累积强度的重要性，一般各设为 50%；

C_{mj} ——第 j 个网格内第 m 种污染物污染浓度的归一化数值；

ω_x ——第 x 个风险受体指标的重要性，一般假设各风险受体指标的脆弱程度相同，即权重一致；

R_{xj} ——第 j 个网格内第 x 个风险受体指标的归一化数值；

PLI_{mj} ——第 j 个网格内第 m 种污染物污染负荷的归一化数值，根据质量平衡理论，由污染物输入强度和输入速率决定；

ω_{ij} ——第 j 个网格内第 i 种污染源的贡献率，可利用源解析模型估算（如 PMF 模型）；

r_{ij} ——第 j 个网格内第 i 种污染源的分配系数，农业源、交通源、生活源排放强度分别用耕地面积、道路长度和人口密度进行表征，工业源排放强度采用大气污染扩散系数进行计算，计算方法见附录 C；

k_{mj1} 、 k_{mj2} 、 k_{mj3} ——分别表示第 j 个网格内第 m 种污染物通过水土流失、淋溶和植物吸收三种途径从土壤中流失率的标准化值，计算方法见附录 D。

4.4.2 效益指标量化方法

（1）管控成本

管控成本可通过施工方案、环评报告、中标公示等渠道获取。无法直接获取场地管控成本的情况下，采用市场价值法进行治理成本的

估算。管控成本按公式 4 计算：

$$RC = \sum_{i=1}^n RP_i \cdot RV_i \quad (\text{公式 4})$$

式中：

RC——地块管控成本（万元）；

RP_i——目标污染物 i 的管控技术平均市场价格（万元/m³），可根据《2014 年污染场地修复技术目录（第一批）》推荐值确定；

RV_i——需要管控的污染介质体积（m³）。

（2）地区经济发展

经管控的污染场地，消除健康风险与生态风险的同时，也会产生潜在的社会效益和经济效益，如促进社会稳定、刺激地区经济增长等。以污染场地对临近房产的污名效应近似评估管控后的地区经济发展潜力，根据《Sustainability transitions of contaminated sites: a global meta-analysis on economic effects of remediation behaviour》中的 Meta 回归模型分析结果，距离污染场地 1km 范围内房产增值效应的推荐值分别为 8.18%，同时考虑土地治理后再开发为商业中心、公园对周边房产价格产生的二次叠加效应。地区经济发展效益按公式 5 计算：

$$EDV = \sum_{i=1}^n 0.0818 \times HV_i \times A_i \times (1 + A_j) \quad (\text{公式 5})$$

式中：

EDV——地区经济发展效益（万元）；

HV_i——场地 1km 范围内第 i 个居住小区销售单价（万元/m²）；

A_i——场地 1km 范围内第 i 个居住小区建筑总面积（m²）；

A_j——场地治理后再开发的边际价格弹性系数，可通过现场调研

或文献资料获取（%）。

考虑到场地的区域异质性，为获取基于特定场地特征的房产增值精确值，也可采用基于 Lancaster 消费者均衡理论的特征价格模型（HPM）来评估场地管控行为带来的地区经济发展的价值反弹，理论上结果更为准确。HPM 计算方法参见附录 E。

（3）地块收益

场地尺度上，通过查阅中国土地市场网（<https://www.landchina.com/>）区域实时土地出让价格进行地块收益类比评估。区域尺度上，基于已有个别点位采用大数据预测技术估算整个研究区域土地价格的空间差异化分布。

（4）就业机会

就业机会收益主要指场地再开发为公园绿地提供就业机会带来的收入增加，通过核算水利、环境和公共设施管理业从业人员平均薪资进行计算。就业机会收益按公式 6 计算：

$$EV = PL_i \cdot SAL_i \quad (\text{公式 6})$$

式中：

EV——提供就业机会的价值（万元）；

PL_i——水利、环境和公共设施管理业的平均薪资（万元/人）；

SAL_i——水利、环境和公共设施管理业的从业人数。

（5）娱乐休憩价值

娱乐休憩价值主要针对场地再开发为公园绿地带来的收益进行计算，或通过公园年度盈收报告直接获取，或通过公园绿地（或周

边具有可比性的公园绿地)的访客发放问卷开展旅行成本调查,包括旅行费用与消费者剩余价值两部分。调查问卷设计参见附录 F, 娱乐休憩价值按公式 7 计算:

$$V = \frac{(TC + CS) \times N}{n} \quad (\text{公式 7})$$

式中:

V——评估年度旅行成本(万元);

TC——旅行费用(元);

CS——消费者剩余价值(元);

n——问卷调查人数总量;

N——评估年度总访客量。

平均旅行费用 TC 按公式 8 计算:

$$TC = (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) + (T_r + T_v) \times S \times 1/3 \quad (\text{公式 8})$$

式中:

C₁——公园门票消费(元);

C₂——往返路途费用(元),指乘坐公共交通费用、跨地区交通费用或自驾成本,其中自驾成本为每公里行驶成本与行驶距离的乘积,根据《2018 雪佛兰品牌保值率及用车成本报告》每公里行驶成本推荐值取 0.91 元);

C₃——食宿费用(元);

C₄——园内娱乐设施消费(元);

T_r、T_v——分别为路途往返时间和园内游览时间(h);

S——个人工资率(元/h),旅游时间机会价值推荐值为工资率

的 1/3。

消费者剩余价值 CS 按公式 9 计算：

$$CS = \int_{x_1}^{x_i} Q(x)dx \quad (\text{公式 9})$$

式中：

x_1 ——被访者实际花费平均成本，即调查人数的 TC 均值（元）；

x_i ——被访者愿意支付的最高价格（元）；

$Q(x)$ ——被访者需求与支付价格 x 之间的回归关系拟合曲线，建立游客到访次数和潜在影响因素（如学历、收入等）之间的相关性。

(6) 生态系统服务价值计算

生态系统服务价值主要针对场地再开发为公园绿地带来的调节服务（气体调节、气候调节、净化环境和水文调节）和支持服务（土壤保持、维持养分循环和生物多样性）进行计算。根据污染场地再开发利用的生态系统类型调查，主要生态系统主要包括针阔混交、阔叶、灌木、草原、灌草丛和人工湖、湿地等。通过校正谢高地等人构建的单位面积生态系统服务价值当量表进行污染场地风险管控生态系统服务价值的计算。当量表参见附录 G，生态系统服务价值按公式 10 计算：

$$PESV = \sum_{n=1}^7 AF_{ni}D \quad (\text{公式 10})$$

式中：

F_{ni} ——某生态系统第 i 地区第 n 种生态服务功能的单位面积价值当量因子；

D ——1 个标准当量因子的生态系统服务价值量（元/m²）；

A——所评估生态系统的总面积（m²）；

PESV——生态系统服务价值（元）。

由于土壤保持服务功能影响因素较多且土壤保持模拟数据较难获取，因此不作修正。其它生态服务功能的单位面积价值当量因子校正方法按公式 11~15 计算：

$$P_i = B_i / \bar{B} \quad (\text{公式 11})$$

$$R_i = W_i / \bar{W} \quad (\text{公式 12})$$

$$F_{ni} = \begin{cases} P_i \times F_{in1} & \text{或} \\ R_i \times F_{in2} & \text{或} \\ S_i \times F_{in3} \end{cases} \quad (\text{公式 13})$$

式中：

P_i——某生态系统第 i 地区的 NDVI 时空调节因子；

B_i——某生态系统第 i 地区的多年平均 NDVI 指数；

\bar{B} ——某生态系统全国范围内的多年平均 NDVI 指数；

R_i——第 i 地区的降水时空调节因子；

W_i——第 i 地区的降水量多年平均值（mm·yr⁻¹）；

\bar{W} ——全国降雨量多年平均值（mm·yr⁻¹）；

S_i——某生态系统第 i 地区的土壤保持时空调节因子；

F_{in}——某生态系统第 i 地区的第 n 种生态服务价值当量因子；

n₁——气体调节、气候调节、净化环境、维持养分循环和维持生物多样性等服务功能；

n₂——水文调节服务功能；

n₃——土壤保持服务功能。

将单位面积农田生态系统粮食生产的净利润作为 1 个标准当量因子的生态系统服务价值量，农田生态系统的粮食产量价值主要依据稻谷、小麦和玉米三大粮食主产物计算，1 个标准当量因子的生态系统服务价值量按公式 14 计算。而对于粮食主产物非稻谷、小麦和玉米的区域，规定农田生态系统服务价值当量因子的经济价值等于区域平均粮食单产市场价值的 1/7（叶梦姚等，2017），1 个标准当量因子的生态系统服务价值量按公式 16 计算：

$$D = S_r \times F_r + S_w \times F_w + S_c \times F_c \quad (\text{公式 14})$$

式中：

S_r 、 S_w 、 S_c ——分别表示评价年度稻谷、小麦和玉米的播种面积占三种作物播种总面积的百分比（%）；

F_r 、 F_w 、 F_c ——分别表示评价年度全国稻谷、小麦和玉米的单位面积平均净利润（元/m²），依据《中国统计年鉴》、《全国农产品成本收益资料汇编》等资料获取。

$$E_a = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i p_i q_i}{M} \quad (\text{公式 15})$$

式中：

m_i ——某种农作物种植面积（公顷）；

p_i ——某种农作物平均价格（元/吨）；

q_i ——某种农作物单位面积产量（吨/公顷）；

M ——所有农作物的种植面积总和（公顷）。

最后，场地尺度上，；园区/区域尺度上，利用空间连接工具将各风险受体、风险源信息进行汇总，并在属性表中进行综合风险计算，用于评估土壤污染风险胁迫下的土地效益，识别高风险、高效益区域。

4.4.3 区划分级

(1) 场地尺度

结合风险归一化值和效益货币当量判断风险管控区划等级，将场地风险管控可持续表征划分为低风险-高效益、高风险-低效益、高风险-高效益和低风险-低效益四类区划等级：针对区划等级为高风险-高收益和低风险-高收益的污染场地，建议给予优先管控和开发利用，以尽快消除健康风险隐患，并通过土地再利用获取较高的收益回报；针对区划等级为高风险-低收益的污染场地，建议采取限制开发的管控策略，在消除现存风险的前提下，探索更高收益回报的管控模式；针对区划等级为低风险-低收益的污染场地，建议采取暂不开发利用的管控策略，以环境监测为主，必要时可采取工程阻隔等措施防止污染扩散，同时制定更高收益回报的规划决策。

(2) 区域尺度

基于公式(2)计算的风险系数，利用 ArcGIS 绘制风险地图，实现污染物风险效应在 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 分辨率上的空间特征可视化。基于真实土地市场交易价格预测当前土壤污染风险胁迫和采取风险管控措施两种情景下的土地价值变化情况，利用 ArcGIS 绘制效益地图，实现区域土地价值在 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 分辨率上的空间特征可视化。最后，采用自然断点法识别污染高风险、高土地价值点位，为土地优先管控和开发提供理论支持。低风险区以优先保护为主；高风险区建议划分为风险优先管控区；中风险区可定期开展土壤环境监测，以土壤污染预警为主。

附录 A

(资料性附录)

污染场地可持续风险管控区划指标

指标		量化方法 (场地)	量化方法 (区域)	
风险 受体 脆弱 性	人口密度	地块及周边 1km 范围内的人口密度。	人口密度归一化	
	敏感点分布	地块及周边 1km 范围内存在以下用地情形的数量：中 小学用地、医疗卫生用地、社会福利设施用地。	敏感点 (包括中小学用地、医疗卫生 用地、社会福利设施用地) 数量归一 化	
	生态功能区	地块及周边 1km 范围内存在以下生态功能区的数量： 水源涵养生态功能区、生物多样性保护生态功能区、 洪水调蓄生态功能区、农产品提供功能区。	根据是否存在生态功能区 (包括水源 涵养、生物多样性保护、洪水调蓄、 农产品提供) 赋值	
	耕地分布 (区域)	-	耕地面积归一化	
	污染 排放 强度 (区域)	工业源、农业源、交通源、生活源等主要排放源排放 污染物的数量。	工业源：基于气象数据和行业污染影 响半径，利用自然衰减法确定各个工 厂各个风向的扩散系数，然后归一化 处理。交通源：道路长度归一化。农 业源：耕地面积归一化。生活源：人 口密度归一化。	
		在产企业类型及数量 (场地)	地块周边 1km 范围内存在以下情形之一的在产企业的 数量： 1、有色金属矿采选、有色金属冶炼、石油加工、化工、 焦化、电镀、制革、医药制造、铅酸蓄电池制造、废 旧电子拆解、危险废物处理处置和危险化学品生产、 储存、使用，以及重点垃圾填埋场、垃圾焚烧场和污 泥处理处置设施等行业有事实排污的大中型企业事业 单位； 2、三年内发生较大及以上突发固体废物、危险废物和 地下水环境污染事件，或者因土壤环境污染问题造成 重大社会影响的企业事业单位。	-
		污染损失率 (区域)	-	利用 RUSLE 模型和输出系数法计算污 染物随地表径流和土壤侵蚀输出的强 度或速率；利用 HYDRUS 1-D 模型模 拟污染物淋溶强度；利用富集系数法 计算污染物经植物吸收的强度，然后 归一化处理。
	污染 程度	土壤污染	土壤中存在风险的污染物数量。	污染物浓度归一化，然后依据污染物 毒性系数赋权后加和。
		地下水污染 (场地)	地下水存在风险的污染物数量。	-
	效益	经济 损失	管控成本 (场地)	市场价值法：场地调查范围内去除污染物所需的成本。 -

指标		量化方法（场地）	量化方法（区域）	
指 标	经济 价值	地区经济发展（场地）	特征价格法：污染地块的合理开发和规划，可以带动区域经济和人口的聚集效应，以辐射的方式向周边土地传输价值和服务。	-
		土地收益	市场价值法：污染地块治理后开发为居住或商业用地所具备的市场交易价值。	基于土地市场交易数据，采用机器学习的回归算法进行区域土地经济价值模拟预测。
	社会 价值	就业机会（场地）	市场价值法：污染地块修复后开发为公园绿地所能提供的就业机会的价值。	-
		娱乐休憩（场地）	旅行成本法：污染地块修复后开发为公园绿地所能提供的娱乐休憩服务的价值。	-
	生态 价值	调节服务（场地）	价值当量法：主要包括气体调节、气候调节、净化环境和水文调节功能。	-
		支持服务（场地）	价值当量法：主要包括土壤保持、维持养分循环、生物多样性。	-

附录 B

(资料性附录)

归一化方法

数据归一化处理是数据挖掘的一项基础工作,不同评价指标往往具有不同的量纲和量纲单位,会影响到数据分析的结果,为了消除指标之间的量纲影响,需要进行数据标准化处理,使处理后的各指标处于同一数量级,适用于综合对比评价。以下是两种常用的归一化方法:

(1) min-max 归一化方法

对原始数据的线性变换,使结果值映射到[0 - 1]之间。正向指标的值越大越好,负向指标的值越小越好,转换函数如下:

$$x^* = \frac{x - \min}{\max - \min} \text{ (正向指标)},$$
$$x^* = \frac{\max - x}{\max - \min} \text{ (负向指标)}$$

式中:

x ——样本数据的初始值;

\max ——样本数据的最大值;

\min ——样本数据的最小值。

(2) Z-score 归一化方法

采用此方法进行标准化后的数据符合标准正态分布,即均值为 0,标准差为 1,转化函数为:

$$x^* = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

式中:

x ——样本数据的初始值;

μ ——所有样本数据的均值;

σ ——所有样本数据的标准差。

附录 C

(资料性附录)

污染扩散系数

大气沉降是土壤污染物的重要来源之一,工业污染源排放的污染物大多经大气扩散传输最终以干湿沉降的方式在土壤层、水域等地表受体进行不同程度的累积。考虑到工业源污染物排放的大气沉降特征以及污染影响半径,本研究采用污染系数和污染半径表征区域工业源对不同土壤点位的大气沉降污染风险,继而量化各工厂排放源对同一土壤点位污染物累积的贡献率。污染扩散系数计算公式如下:

$$P_i = \frac{A_i}{\bar{V}_i} = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^{16} K_i + C} \div \frac{\sum_{x=1}^{A_i} V_{ix}}{K_i}$$

式中:

P_i ——扩散系数;

A_i ——风在 i 方位出现的频率, $i=1\sim 16$;

\bar{V}_i ——风在 i 方位的平均风速 (m/s);

K_i ——风在 i 方位被统计到的次数;

C ——静风出现的次数;

V_{ix} ——风在 i 方位第 x 次被观测到的风速 (m/s)。

污染半径是指固定污染点源所能辐射的范围。根据《农用地土壤污染状况详查点位布设技术规定》,不同行业的污染源排放具有不同的大气沉降污染半径。将污染半径作为污染源对周边土壤的污染辐射范围,污染系数作为工厂对周边土壤的污染辐射贡献率,计算污染影响范围内土壤中污染物的输入负荷,污染半径公式如下:

$$R_{ij} = R_{\max} \times \frac{P_i}{P_{\max}}$$

式中：

R_{ij} ——第 j 个污染源在第 i 个方向的污染半径 (m) ；

R_{\max} ——最大污染半径 (m) ；

P_i ——各个风向的扩散系数；

P_{\max} ——最大扩散系数。

附录 D

(资料性附录)

污染损失率

1、水土流失损失率

参考由 Johnes 提出的用于估算流域面源污染中氮磷等营养元素面源污染负荷的输出系数公式,考虑到不同重金属的离子有效性和水溶出率不同,经改进后可以用来估算重金属的输出系数,计算公式如下:

$$k_{j1} = \alpha + \frac{(1-\alpha) \times B \times 0.01}{\rho \times Dep}$$

式中:

α ——污染物水溶出率,一般有机物设为 0,重金属水溶出率的测定采用 BCR 连续分级提取法,将水溶态和可交换态含量合并的酸溶态作为重金属的水溶出态;

ρ ——土壤容重 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$);

Dep——表层土壤厚度 (cm),一般取 20 厘米;

B——土壤侵蚀模数,可采用 RUSLE 模型估算 ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{yr}^{-1}$),通过计算降雨侵蚀因子、土壤可蚀性因子、坡度坡长因子、植被覆盖与管理因子、水土保持措施因子,从而计算区域的土壤侵蚀量,计算公式如下:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

式中:

A——为单位面积土壤侵蚀量 ($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$);

R——降雨侵蚀力因子, $\text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})$;

K——土壤可蚀性因子, $\text{t}\cdot\text{hm}^2\cdot\text{h}/(\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$;

LS——坡长坡度因子;

C——植被覆盖与管理因子；

P——水土保持措施因子。

(1) 降雨量侵蚀因子 R

RUSLE 中多年平均年降雨侵蚀力，反映年降水的多年平均状况以及土壤侵蚀对降水响应程度。采用 Wischmeier (1960) 提出并经 Arnoldus (1980) 修正的经验公式计算降雨侵蚀力：

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{\left(1.51 \lg \frac{P_i^2}{P} - 0.8188\right)}$$

式中：

P_i ——各月平均降水量 (mm)；

P ——年降水量 (mm)。

(2) 土壤可蚀性因子 K

土壤可蚀性是指土壤对侵蚀的敏感程度。在降雨、植被、地形、水保措施等其他条件相同的情况下，可蚀性高的土壤比可蚀性低的土壤易遭受侵蚀。计算公式如下：

$$K_{EPIC} = 0.1317 \times \left(0.2 + 0.3 \times e^{[-0.0256 \times Sand \times (1 - \frac{Silt}{100})]} \right) \times \left(\frac{Silt}{Clan + Silt} \right)^{0.3} \\ \times \left[1 - \frac{0.25 \times TOC}{TOC + e^{(3.72 - 2.95 \times TOC)}} \right] \times \left[1 - \frac{0.7 \times SN_1}{SN_1 + e^{(22.9 \times SN_1 - 5.51)}} \right]$$

$$K = -0.01383 + 0.515 K_{EPIC}$$

$$SN_1 = 1 - Sand / 100$$

式中：

Sand、Silt、Clan——土壤砂粒含量、粉砂含量、黏粒含量 (%)；

KEPIC——根据 EPIC 模型计算得到的区域土壤可蚀性值， K 为经过中国区域的修正模型进行修正后的实际土壤可蚀性因子值。

(3) 坡度坡长因子 LS

应用数字地形分析方法计算 LS 因子，计算公式如下：

$$L = (\text{Flow Accumulation} \times \text{Cell Size} / 22.13)^M$$

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.03 & \theta < 5^\circ \\ 16.8 \sin \theta - 0.5 & 5^\circ \leq \theta < 10^\circ \\ 21.9 \sin \theta - 0.96 & \theta \geq 10^\circ \end{cases}$$

式中：

S——坡度因子；

L——坡长因子；

Flow Accumulation——像元上坡来水流入该像元的累积面积；

Cell Size——像元边长，22.13 为标准小区坡长；

M——坡长指数；

θ ——坡度值（角度制）。

(4) 植被覆盖因子 C 和水土保持措施因子 P

C、P 因子的计算由于涉及到不同细分因子的综合作用而显得较为复杂，但由于其已经历较长时间的发展，现在算法较为成熟，目前主要是依据土地利用类型赋值的方法确定 C、P 值。

土地利用类型	水田	耕地	林地	水域	建设用地
C	0.1	0.21	0.006	0	0.2
P	0.01	0.25	0.5	0	1

2、淋溶损失率

Hydrus-1D 软件是一套用于模拟饱和-非饱和多孔介质中水分运移和溶质运移的数值模型，被广泛用于土壤水分和污染物运移方面的研究和工程应用，实现对特定点位的根系吸水、热量传递以及溶质运移过程的模拟。

(1) 模型基本控制方程

采用 Hydrus-1D 软件, 对研究区土壤垂向上建立一维水流溶质运移模型, 水流模型概化为多层均质各项同性的一维垂向稳定流, 忽略水平流动和侧向流动, 土壤水分运动主要受 Richards 方程控制, 土壤水分特征曲线采用 van Genuchten-Mualem 公式表达, 土壤溶质运移主要受对流-弥散方程控制。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h, z) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S$$

式中:

S——源汇项;

h——土壤压力水头;

θ ——体积含水率;

K——非饱和渗透系数。

$$K(h, z) = K_s(z) K_r(h, z)$$

式中:

K_r ——相对渗透系数;

K_s ——饱和渗透系数。

模型中采用的经典对流-弥散方程来描述一维溶质运移。

$$\frac{\partial(\theta c)}{\partial t} + \rho \frac{\partial s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\theta D \frac{\partial c}{\partial z} \right) - \frac{\partial(qc)}{\partial x} - \varphi$$

式中:

c——溶质浓度;

D——饱和-非饱和水动力弥散系数;

s——吸附在土壤颗粒上的固态溶质浓度;

φ ——源汇项;

q——体积流动通量密度。

(2) 初始条件和边界条件

将初始条件设定为各个土壤采样点的污染物浓度 (g/cm^3)，对于水流模型上边界为大气通量边界，下边界为自由排水边界；对于溶质运移模型上边界为浓度通量边界，下边界为零梯度边界。

① 土壤水分运移的初始条件与边界条件

初始条件：

$$h(x,0) = h_0(x), \quad 0 \leq x \leq L$$

上边界条件：

$$-K(h)\left(\frac{\partial h}{\partial x} + 1\right) = q_x, \quad x = 0$$

下边界条件：

$$h(x,t) = h_b(t)$$

② 土壤溶质运移的初始条件与边界条件

初始条件：

$$c(x,0) = c_0(x), \quad t = 0, 0 \leq x \leq L$$

上边界条件：

$$-\theta D \frac{\partial c}{\partial x} + q_c = q_s c_s, \quad x = 0, t > 0$$

下边界条件：

$$\frac{\partial c}{\partial x} = 0, \quad x = L, t > 0$$

3、植物吸收损失率

根据研究区域土地利用类型图及现场调研信息，对研究区域植被类型进行分类。不同植被的重金属富集系数、地上生物生长量不同，富集重金属的能力存在限制差异。富集系数可以通过文献调研、实验

室实测获取。土壤重金属植物吸收量过程可以描述为：

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{C_t \times PUF \times G_{biomass} \times R_p \times 1000}{\rho \times d \times t_4}$$

式中：

C_t ——土壤重金属含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)；

PUF ——重金属的植物富集系数；

$G_{biomass}$ ——植物地上生物量生长量 ($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)；

R_p ——土层中植物根系质量百分比；

ρ ——土壤容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)；

d ——表层土壤厚度 (cm)，一般取 20 厘米；

t_4 ——植物生长期内的单位时间。

附录 E

(资料性附录)

特征价格模型 (HPM)

HPM 的函数形式包括线性形式、对数形式和半对数形式三种。

(1) 线性函数形式:

$$P = \alpha + \sum \beta_i X_i + \varepsilon$$

式中:

P ——住宅价格;

X_i ——不同的特征因素;

β_i ——回归系数, 代表相应特征变量的隐含价格;

α ——常数项, 代表影响住宅价格的常量;

ε ——模型的随机干扰项, 解释所有自变量无法解释的差异。

(2) 半对数形式:

$$\ln P = \alpha + \sum \beta_i X_i + \varepsilon$$

式中, β_i 为特征变量 X_i 的半弹性系数, 即当其他变量不变的情况下, 一个特征变量每变化 1%, 房价会变化 $100\beta_i\%$ 。

(3) 对数形式:

$$\ln P = \alpha + \sum \beta_i \ln X_i + \sum \gamma_i \ln Y_i + \varepsilon$$

式中, X_i 表示影响房价的连续型特征变量; Y_i 表示影响房价的离散型特征变量; β_i 为 X_i 的弹性系数, 即当其他变量不变的情况下, 一个特征变量每变化 1%, 房价变化 $\beta_i\%$; γ_i 为 Y_i 的半弹性系数, 即当其他变量不变的情况下, 一个特征变量每变化 1%, 房价变化 $100\gamma_i\%$ 。

附录 F

(资料性附录)

旅行费用法调查问卷

1. 您的个人基本信息

- ① 您的性别： 男 女
- ② 您的年龄为_____周岁。
- ③ 您的学历： 初中及以下 高中/中专 大专 本科 研究生及以上
- ④ 您的职业： 事业单位员工 企业职员 离退休人员 自由职业 个体工商户
 农民 科教/文艺/医生/律师等专业技术人员 军人/警察 学生 其他
- ⑤ 您的平均月收入(元/月)： 0 0~5000 5000~1万 1万~1.5万
 1.5万~2万 2万~5万 5万~10万 10万以上
- ⑥ 您的现居住地为_____省(自治区、直辖市)_____市_____县(区)。

2. 您对**公园的评价?

- 非常满意 满意 一般 不太满意 非常不满意,原因_____

3. 您对**公园的了解程度?

- 不了解 有一定了解,看过、听过有关介绍
比较了解,熟悉主要景点 非常了解,熟悉主要景点及其建园过程、文化等

4. 来**公园之前,您了解相关信息的渠道(可多选)?

- 电视广播 报刊杂志 政府社区宣传 网络 旅行社推广 亲朋好友推荐 其它

5. 您到访**公园的目的(可多选)?

- 会见朋友 调研学习 娱乐休闲 集体团建 其他_____

6. 若是本地游客,您到**公园的交通方式及费用(单程)?

- 地铁(____元/人) 电动汽车自驾(____公里) 燃油车自驾(____公里)
打车(____元/人) 公交汽车(____元/人) 共享单车(____元/人) 其它

7. 若是外地游客,您到**公园的交通方式及费用(单程)?

- 火车(____元/人) 飞机(____元/人) 长途汽车(____元/人)
电动汽车自驾(____公里) 燃油车自驾(____公里) 其它

8. 您在**公园的花费(包括门票、餐饮、住宿、娱乐、购买纪念品等)约为_____元/人。

9. 您到访**公园所能接受的总费用支出最多为_____元/人。

10. 您出发到**公园所需要的时间(指单程交通)约为_____小时。

11. 您在**公园的游玩时间约为_____小时。

12. 近半年内,您到**公园的游览次数为_____次。

附录 G

(资料性附录)

单位面积生态系统服务价值当量表

生态系统分类		调节服务				支持服务		
		气体调节	气候调节	净化环境	水文调节	土壤保持	维持养分循环	生物多样性
乔木	针叶	1.7	5.07	1.49	3.34	2.06	0.16	1.88
	针阔混交	2.35	7.03	1.99	3.51	2.86	0.22	2.60
	阔叶	2.17	6.50	1.93	4.74	2.65	0.20	2.41
灌木	灌木	1.41	4.23	1.28	3.35	1.72	0.13	1.57
草地	草原	0.51	1.34	0.44	0.98	0.62	0.05	0.56
	灌草丛	1.97	5.21	1.72	3.82	2.40	0.18	2.18
	草甸	1.14	3.02	1.00	2.21	1.39	0.11	1.27
湿地	湿地	1.90	3.60	3.60	24.23	2.31	0.18	7.87