

ACEF

中华环保联合会团体标准

T/ACEF×××-××××

污染地块可持续修复与风险管控规划技术指南

Technological guideline for sustainable remediation and risk control planning of
contaminated sites

（征求意见稿）

××××-×-×发布

××××-×-×实施

中华环保联合会 发布

目 次

污染地块可持续修复与风险管控规划技术指南.....	1
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 总体原则与程序.....	3
5 规划对象与范畴.....	4
6 规划区现状调查与评估.....	5
7 规划编制.....	5
8 规划实施与评估.....	6
附录 A（资料性）规划区现状调查资料收集参考清单.....	8
附录 B（资料性）可持续修复与风险管控规划指标及评价方法参考	9
附录 C（资料性）规划情景设计示例	20
附录 D（资料性）典型修复或管控技术的推荐强度因子（Fint）	23
附录 E（资料性）地块修复或管控二次污染物排放估算方法.....	24
附录 F（资料性）典型修复或管控技术的碳排放因子（YCO2）	25

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件为首次发布。

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。

本文件由中华环保联合会归口。

为贯彻《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》等法律法规，保护生态环境，保障人体健康，促进污染地块的可持续修复与风险管控，推动区域可持续发展，制定本指南。

本指南规定了省、市、区县等行政区域内污染地块可持续修复与风险管控规划的基本要求。

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、北京城市副中心绿色发展研究院。

本指南主要起草人：

污染地块可持续修复与风险管控规划技术指南

1 适用范围

本指南规定了污染地块可持续修复与风险管控规划的原则、规划方法、实施内容和技术要求。

本指南适用于开展省、市等行政区域污染地块可持续修复与风险管控规划。

其他尺度的污染地块可持续修复与风险管控规划可参照本指南执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

- GB/T 39791.1 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
 - GB/T 39792.1 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
 - GB/T 51329 城市环境规划标准
 - GB/T 40759 城市和社区可持续发展 可持续发展管理体系 要求及使用指南
 - GB/T 38903 工业园区物质流分析技术导则
 - GB/T 2589 综合能耗计算通则
 - HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则
 - HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则
 - 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
 - T/CAEPI 26 污染地块绿色可持续修复通则
- 排放源统计调查产排污核算方法和系数手册（生态环境部公告 2021 年 第 24 号）

3 术语和定义

3.1

可持续修复与风险管控 sustainable remediation and risk control

在满足地块环境功能、使用功能和风险控制的基础上，为了减少修复或风险控制自身所带来的负面影响，综合考虑修复或风险控制全生命周期内的环境、社会、经济因素，采

取使净效益最大化的方案和措施。

3.2

污染地块安全开发利用与管控 safe development, utilization and risk control of contaminated land

污染地块依法落实土壤污染风险管控和修复措施后，符合规划用地类型的土壤和地下水环境质量要求，可实现再开发利用。

3.3

可持续度评价 sustainability assessment

通过定性、半定量或者定量的方法，对规划区域内污染地块某一修复或风险管控规划情景进行综合评价，确定其环境、社会、经济影响和效益，为规划优化和决策提供科学支撑。规划情景可持续度评价结果包括强可持续情景和弱可持续情景。强可持续情景指对环境、社会、经济产生相对更多正面影响的情景；弱可持续情景指对环境、社会、经济产生相对更多负面影响的情景。

3.4

物质流分析 material flow analysis

在一定时空范围内关于特定社会经济系统物质流动和贮存的系统性分析。

[来源：GB/T 38903-2020，3.1]

3.5

成本效益分析 cost benefit analysis

通过比较某一规划情景的直接和间接社会成本与资源投入，和产生的直接和间接社会、经济、环境效益，分析该规划情景净效益的一种系统分析方法。

3.6

修复强度 remediation intensity

规划范围内，污染地块实施修复或风险管控对土壤和地下水等自然环境的扰动程度，采用正在实施修复或风险管控的土壤方量与所采用的技术强度因子乘积，与全部污染土壤方量的比值进行计算。

3.7

生态景观提升 ecological landscape enhancement

森林、草地、绿色廊道、水体及其它能提供自然生态系统服务功能的景观所能提供的土地价值提升。

4 总体原则与程序

4.1 总体原则

4.1.1 整体性原则

从城市和区域整体性角度出发，坚持“统一规划，合理布局，因地制宜，配套建设，协调发展”的方针。综合考虑污染地块的风险特征、空间分布、周边敏感受体、区域社会经济、城市发展特色、生态功能分区、土地利用规划与开发需求等特点，实现区域内污染地块修复、风险管控与再利用的可持续规划。

4.1.2 多规融合原则

规划区域内污染地块的修复或风险管控策略、再利用方式与开发时序时，应当与该区域的国民经济规划、国土空间规划、土地利用规划、生态功能区划、碳达峰方案及其它相关专项规划相互衔接与协调。

4.1.3 可行性原则

在规划过程中，合理选择污染地块修复或风险管控策略，同时充分考虑规划实施的可行性和可操作性，包括技术可行性、资金可行性、市场需求等因素，确保规划能够顺利实施。

4.1.4 绿色可持续原则

坚定绿色低碳发展理念，紧扣双碳目标和景观价值两个核心驱动因素，在保障污染地块健康风险可控和土地安全利用的基础上，最小化区域污染地块修复或风险管控的综合成本投入，最大化区域污染地块管理可持续性和韧性，提升区域土壤污染综合治理水平。

4.2 规划程序

污染地块可持续修复与风险管控规划程序见图 1。

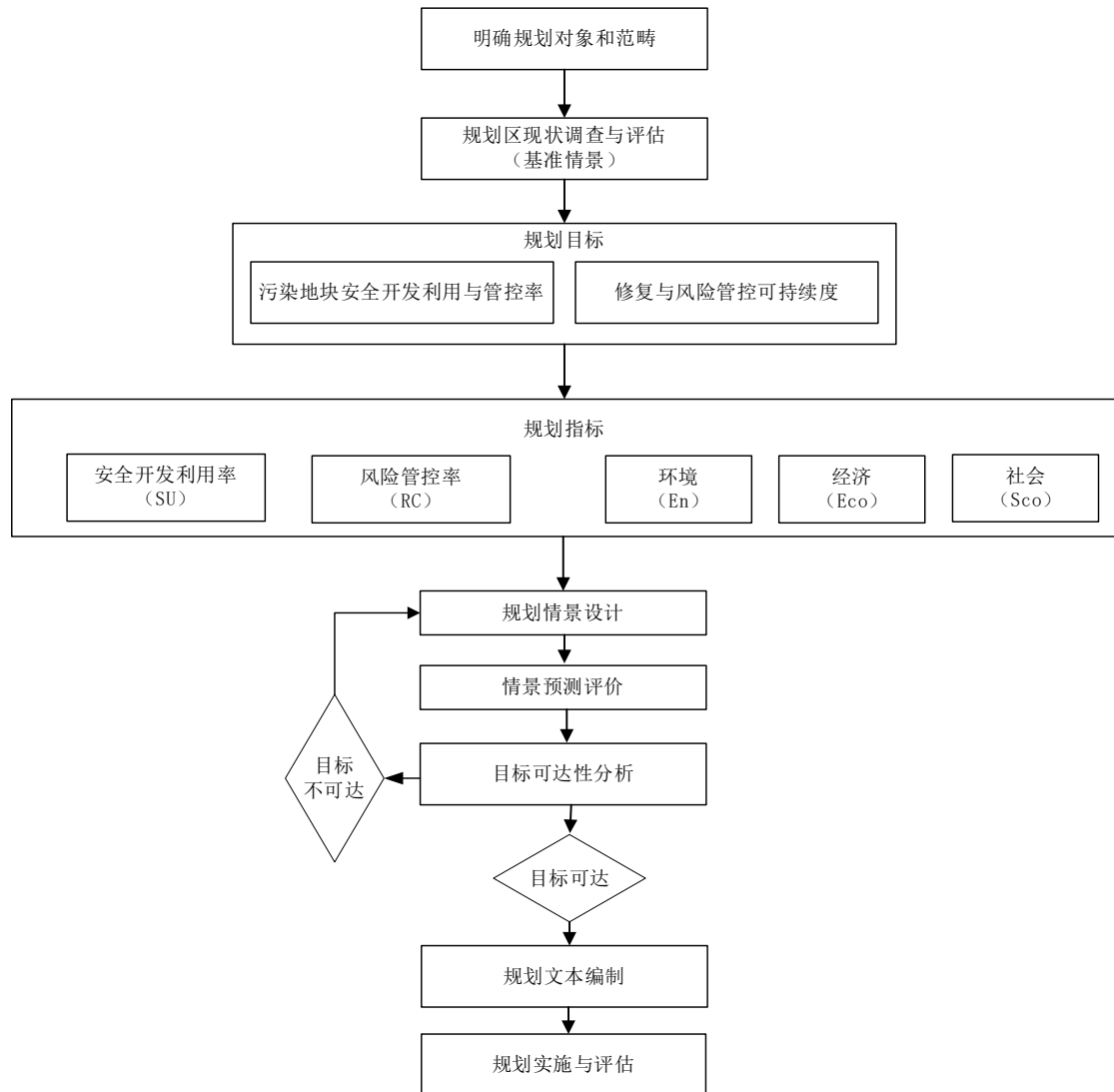


图 1 污染场地可持续修复与风险管控规划程序

5 规划对象与范畴

5.1 规划对象

规划对象为区域内污染危害超过人体健康或生态环境可接受风险水平且尚未开展修复或者管控的污染地块。

5.2 规划范畴

明确规划的时间和空间范畴，确定规划的基准年与时间跨度，核实规划区域空间边界，一般以行政区域或重点战略区、生态功能区、工业聚集区等边界为准。

6 规划区现状调查与评估

规划编制启动前，需对规划区开展现状调查，以掌握区域自然环境与水文气象、社会经济发展状况、生态环境质量状况、国土空间功能分区、区域城市发展规划和土地利用情况以及污染地块分布和管理现状等。规划区现状调查阶段资料收集清单可参考附录 A。

7 规划编制

7.1 目标和指标

7.1.1 规划目标

结合规划区内污染地块管理要求、碳达峰碳中和方案、可持续发展和国土空间规划等目标统筹，制定污染地块可持续修复与风险管控规划目标，包括污染地块安全开发利用与管控率、修复与风险管控可持续度两类目标。

7.1.2 规划指标

对应污染地块安全开发利用与管控率和修复与风险管控可持续度两类目标，分别提出相应的规划指标，并明确约束性或参考性指标。约束性指标是为实现规划目标，在规划期内必须实现的指标；参考性指标是指可根据区域实际选取的规划指标。污染地块安全开发利用率（SU）与地块风险管控率（RC）指标需衔接污染地块管理考核要求，为约束性指标；修复与风险管控可持续度（S）指标用于综合评估环境、社会、经济综合效益，环境维度应当涵盖污染风险削减、二次污染排放、气候适应性和生态景观价值等指标，经济维度主要考虑污染地块修复管控和再开发直接经济效益，社会维度主要考虑污染地块修复管控和再开发社会影响及效益，均为参考性指标。规划指标参考、各指标涵义及评价方法参考附录 B。规划指标应根据地块实际情况采用定性、半定量或定量评估的方法。

7.2 规划情景设计

根据污染地块安全开发利用与管控率和修复与风险管控可持续度两类目标设计规划情景，确定不同规划情景指标和任务，规划情景数量一般不少于 2 个。规划区现状情景

可以作为基准情景。

规划情景需明确区域内污染地块的未来土地利用方式、修复管控策略、修复管控施工周期、开发利用时序等内容。具体规划情景根据区域实际情况进行合理设计。

对于尚未制定修复管控方案、无法确定具体修复管控技术的污染地块，结合地块污染特性、修复技术可行性、区域政策等因素进行综合考虑，对可能采取的修复或管控策略进行假设。不同规划情景设计及任务描述示例见附录 C。

7.3 情景预测评价

在规划期内，明确各规划情景下开展相应指标评价所需的量化参数或定性描述，根据指标评价所需参数可获取性，通过定量、半定量或定性的方法开展指标评价和预测，指标评价方法参考附录 B。通过比较分析规划情景各项指标综合评价结果，对定量、半定量、定性评价结果分别进行综合评判，筛选出最优规划情景。

由于规划阶段通常早于一些污染地块的具体修复或管控方案制定阶段，因此在规划情景设计时需要区域内污染地块的修复或管控策略与拟采用的技术进行假设，在进行相应情景的预测评价时，需对这些假设做出合理性分析和不确定性分析。

7.4 目标可达性分析

从政策符合性、规划协调性、技术可行性、指标可达性等角度，全面分析最优规划情景的目标可达性，污染场地修复与风险管控目标应当符合国家与地区污染地块风险管控与土壤修复管理要求，与地块未来利用规划、碳达峰方案及其它相关专项规划相互衔接与协调，修复和风险管控技术通过实验室小试、现场中试、工程案例等进行可行性评估，规划指标与上位规划、同级规划中相关指标相衔接。最优规划情景的目标若不具有可达性，则需要进行调整。

7.5 规划文本编制

结合目标可达性分析，完善最优规划情景下的规划目标和任务，落实规划任务责任单位，形成规划文本和研究报告。

8 规划实施与评估

规划实施应当严格按照规划任务责任单位落实。规划任务责任单位定期开展规划实

施情况评估与考核工作，掌握规划任务和重点工程实际执行情况和实施效果，采取必要的措施进行整改，确保规划目标顺利完成。

附录 A
(资料性)
规划区现状调查资料收集参考清单

规划区现状调查阶段资料收集参考清单见表 A.1。

表 A.1 规划区现状调查资料收集参考清单

序号	类型	资料名称	参考来源
1	自然环境与水 文气象/人口与 社会经济情况	地区志	统计部门
2		行政区地图	统计部门
3		统计年鉴	统计部门
4	土地利用现状	土地利用现状图	规划与自然资源部门
5	相关规划与区 划	国民经济五年规划	当地人民政府
6		中长期发展规划	当地人民政府
7		生态功能区划	生态环境部门
8		城市发展功能区划	规划与自然资源部门
9		园林绿化相关规划	园林绿化部门
10		能源相关规划	发改部门
11		工业园区建设相关规划	经信部门
12		产业发展规划	发改部门
13		可持续发展或绿色低碳发展规划或相 关政策文件	发改/生态环境部门
14	生态环境质量 状况	生态环境保护规划	生态环境部门
15		生态环境状况公报	
16		国控省控断面监测数据	
17		生态系统调查/建设用地土壤污染状 况调查等相关公开基础资料	
18	应对气候变化	碳达峰碳中和方案	发改/生态环境部门
19	污染地块管理 现状	建设用地土壤污染状况名录	生态环境部门
20		建设用地土壤环境管理相关制度文件	

附录 B
(资料性)

可持续修复与风险管控规划指标及评价方法参考

污染地块可持续修复与风险管控规划指标参考见表 B.1, 各指标评价方法参考 B.1-B.2。

表 B. 1 可持续修复与风险管控规划指标参考

序号	规划目标	一级指标	二级指标	三级指标	属性	类型
1	污染地块安全开发利用与管控率	地块安全开发利用率 (SU)	--	--	正向	约束性
2		地块风险管控率 (RC)	--	--	正向	约束性
3	修复与风险管控可持续性 (S)	环境 (En)	污染物削减率 (R_M)	--	正向	参考性
4			修复强度 (I_{rem})	--	负向	参考性
5			二次污染排放强度 ($I_{emission}$)	--	负向	参考性
6			气候适应性 (CA)	碳汇增量 (CO_{2sto}) / 碳排放量 (I_{CO2-eq})	正向	参考性
7				气候弹性 (CR)	正向	参考性
8			生态景观提升 (LS)	生态空间拓展率 (E_{rate})	正向	参考性
9		经济 (Eco)	修复管控成本 (Cost)	--	负向	参考性
10			直接和间接效益 (B)	生态系统服务价值 (E_{val})	正向	参考性
11				景观和娱乐功能 (A)	正向	参考性
12				土地增值收益 (V_{land})	正向	参考性
13		社会 (Soc)	地块受益人群 (Pop)	--	正向	参考性
14			公众反馈 (Pub)	--	正向	参考性
15			管理能力 (CAP_{manage})	--	正向	参考性

B.1 污染地块安全开发利用与管控率

污染地块安全开发利用与管控率 = 地块安全开发利用率（SU）+ 地块风险管控率（RC）

B1.1 地块安全开发利用率（SU）

规划区域内全部污染地块在规划期内通过修复后实现安全开发利用的比例。其中，区内全部污染地块数量以规划基准年确定的污染地块清单底数为准，计算公式见公式 1：

$$SU = \frac{\text{修复后实现安全开发利用的地块数量}}{\text{规划区内全部污染地块数量}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots \text{公式 1}$$

B1.2 地块风险管控率（RC）

规划区域内全部污染地块在规划期内完成风险管控措施、有效防范污染风险扩散的比例，计算公式见公式 2：

$$RC = \frac{\text{采取有效风险管控措施的地块数量}}{\text{规划区内全部污染地块数量}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots \text{公式 2}$$

SU 与 RC 之和越接近 1，则规划区域内污染地块整体安全开发利用水平越高。对于单一大型复杂污染地块，地块数量可用地块面积代替。

B.2 修复与风险管控可持续度（S）

B2.1 环境（En）

B2.1.1 污染物削减率（R_M）

污染物削减率（R_M）指在规划区域，在规划期内，通过采取治理修复措施所能削减或降解的各类污染物的物质量去除率（单位：%）。计算公式见公式 3：

$$R_M = \frac{\Delta M}{M} \quad \dots\dots\dots \text{公式 3}$$

其中，ΔM 为污染物削减通量（kg），M 为污染地块全部污染物总量（kg），计算公式见公式 4 和公式 5：

$$\Delta M = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \left[\frac{M_{soil,i} \times (\bar{C}_{soil,j,i} - C_{soil,j,i}^0) \times 10^{-6} + M_{gw,i} \times (\bar{C}_{gw,j,i} - C_{gw,j,i}^0) \times 10^{-3}}{M_{soil,i} + M_{gw,i}} \right] \quad \dots\dots\dots \text{公式 4}$$

4

$$M = \sum_{u=1}^U \sum_{j=1}^J [M_{soil,u} \times \bar{C}_{soil,j,u} \times 10^{-6} + M_{gw,u} \times \bar{C}_{gw,j,u} \times 10^{-3}] \quad \dots\dots\dots \text{公式 5}$$

其中，U 为规划期内，规划区计划完成修复的地块 u 数量总和；J 为第 u 个地块内土壤和地下水中涉及到的污染物 j 种类总数； $M_{soil,u}$ 为第 u 个地块修复土壤质量（单位：kg）， $\bar{C}_{soil,j,u}$ 为第 u 个地块内的第 j 种污染物在土壤中的平均浓度（单位：mg/kg）， $C_{soil,j,u}^0$ 为第 u 个地块内的第 j 种污染物土壤修复目标值或风险筛选值（单位：mg/kg）； $M_{gw,u}$ 为第 u 个地块修复地下水体积（单位：m³）， $\bar{C}_{gw,j,u}$ 为第 u 个地块内的第 j 种污染物在地下水中的平均浓度（单位：mg/L）， $C_{gw,j,u}^0$ 为第 u 个地块内的第 j 种污染物地下水修复目标值或标准值（单位：mg/L）。

对于采取风险管控的地块，如土壤和地下水中的污染物质未产生实质性降解或削减，则不计入污染物削减通量。

B.2.1.2 修复强度（Irem）

单个地块修复强度（ $I_{rem,u}$ ，无量纲）是指地块采取某种修复或管控技术的污染土壤方量与对应技术的强度因子乘积之和，与该地块污染土壤方量的比值。计算公式见公式 6：

$$I_{rem,u} = \frac{\sum_r^R (V_{soil,u,r} \times F_{int,u,r})}{V_{soil,u}} \dots\dots\dots \text{公式 6}$$

其中， $I_{rem,u}$ 为第 u 个规划区内拟实施或正在实施修复或管控工程的地块修复强度；R 为地块 u 所采用的修复或管控技术的总数； $V_{soil,u,r}$ 为第 u 个地块采用第 r 种修复或管控技术的污染土壤方量（单位：m³）； $V_{soil,u}$ 为第 u 个地块全部修复或管控土壤方量（单位：m³）， $V_{soil,u} = \sum V_{soil,u,r}$ ； $F_{int,u,r}$ 为第 u 个地块所采用的第 r 种修复或管控技术的强度因子（无量纲），推荐值见附录 C。

未开展修复或风险管控的地块 $I_{rem,u} = 0$ 。

规划区在规划期内所面临的整体修复强度（ $I_{rem,all}$ ），等于每个地块修复强度（ $I_{rem,u}$ ）与该地块修复或管控土方量乘积的加和，再除以规划区内全部地块污染土壤方量的总和，计算公式见公式 7：

$$I_{rem,all} = \frac{\sum_u^U (V_{soil,u} \times I_{rem,u})}{V_{soil,all}} \dots\dots\dots \text{公式 7}$$

其中， $V_{soil,all}$ 为规划区内全部污染地块污染土壤方量的总和（单位：m³）；U 为规划区规划期内拟实施或正在实施修复或风险管控工程的地块总数。

修复强度 $I_{rem,all}$ 为负向指标，取值范围为[0,1]。

B.2.1.3 二次污染排放强度 ($I_{emission}$)

二次污染排放强度 ($I_{emission}$, t 大气污染物/t 污染土) 是指规划时空范围内，计划完成修复或风险管控工程的所有污染地块，施工过程中单位质量污染土壤所产生的全部二次污染物排放总量，计算公式见公式 8:

$$I_{emission,all} = \frac{\sum_u^U E_{l,u}}{\sum_u^U V_{soil,u} \times \rho} \dots\dots\dots \text{公}$$

式 8

其中， $I_{emission,all}$ 为规划时空范围内计划完成修复或风险管控工程的所有地块的二次污染物排放强度； L 为二次污染物 l 的种类总数，主要考虑大气常规污染物 (SO_2 、 NO_x 和颗粒物)； $E_{l,u}$ 为第 u 个地块修复或管控过程中所产生的第 l 种二次污染物排放量 (单位: t)，估算方法可参考附录 D； $V_{soil,u}$ 为第 u 个地块的污染土壤方量 (单位: m^3)； ρ 为土壤密度，取值 $1.7t/m^3$ ； U 参见 B.2.1.2。

二次污染排放强度 $I_{emission,all}$ 为负向指标。

B.2.1.4 气候适应性 (CA)

B.2.1.4.1 碳汇增量 (CO_2sto) /碳排放量 (ICO_2-eq)

(1) **碳汇增量 (CO_2sto)** 指修复或风险管控后的地块中绿地、公园、廊道、城市景观用地等园林绿地产生的碳汇效益，通过 CITYgreen 模型估算植被碳汇效益，单个地块修复或风险管控后通过生态恢复产生的植被年碳汇价值 ($CO_{2-sto,u}$)，计算公式见公式 9 和公式 10:

$$CO_{2-sto,u} = S \times CD \times \text{碳削减系数} \dots\dots\dots \text{公式 9}$$

$$CD = 0.127 \left(\frac{Q_t}{S} \right)^2 - 12.038 \frac{Q_t}{S} + 0.018 \dots\dots\dots \text{公式 10}$$

其中， $CO_{2-sto,u}$ 为修复后第 u 个地块植物固碳总量 (吨)；

植被面积 (hm^2) 为修复后第 u 个地块绿化面积；

CD 表示植物郁闭度；

Q_t 表示植物种植数量，棵树；

S 表示植物种植面积，hm²；

碳削减系数参考表 B.1；

规划区整体碳汇增量（CO₂sto）价值等于规划区内每个地块在规划期内的碳汇量（CO_{2-sto,u}）之和，计算公式见公式 11：

$$CO_2sto = \sum_u^U CO_{2-sto,u} \times Y$$

.....公式 11

Y 为规划周期，年。

表 B.1 CITYgreen 模型中不同林龄植被的碳削减系数

林龄类型	碳削减系数
幼龄型（Type1, Young）	0.00815
成熟型（Type2, Mature）	0.00086
均匀型（Type3, Even）	0.00172
平均型（Average）	0.00376

来源：American Forest，1999

（2）单个地块的**碳排放量**（ $I_{CO_2-eq,u}$ ，单位：t），指某个地块修复或风险管控所产生的全部碳排放量，计算公式见公式 12：

$$I_{CO_2-eq,u} = \sum_r^R (V_{soil,u,r} \times Y_{CO_2,r}) \dots\dots\dots \text{公式 12}$$

其中， $I_{CO_2-eq,u}$ 为第 u 个地块修复或管控产生的碳排放量；R、 $V_{soil,u,r}$ 参见 B2.1.2； $Y_{CO_2,r}$ 为第 r 种修复或管控技术对应的碳排放因子（单位：t CO₂/m³ 污染土），推荐值见附录 E。

不计划开展修复或风险管控的地块 $I_{CO_2-eq,u} = 0$ 。

规划区内所面临的整体碳排放量（ I_{CO_2-eq} ，单位：t CO₂），等于规划期计划完成修复或管控的每个地块碳排放量（ $I_{CO_2-eq,u}$ ）之和，计算公式见公式 13：

$$I_{CO_2-eq} = \sum_u^U I_{CO_2-eq,u} \dots\dots\dots \text{公式}$$

(3) **碳汇增量 (CO₂sto) / 碳排放量 (ICO₂-eq)** 反映了规划区内计划完成修复或管控的所有地块碳平衡程度，为正向指标。

B2.1.4.2 气候弹性 (CR)

气候弹性 (CR) 指修复或风险管控的地块应对气候变化影响 (如气温、降水、风力、海平面上升、火灾) 的能力，利用打分法对气候弹性 (CR) 进行定性评估，参考表 B.2 气候适应措施及对应分值，对修复管控方案或措施进行打分，若实施其中一项则获得相应分数，最后对总分进行归一化，得分越高，则地块气候弹性 (CR) 指标值越大，打分表见表 B.2。

表 B.2 气候弹性 (CR) 效益打分表

气候弹性措施	分值	方案 1	方案 2	方案 3
制定了地下水长期监测和采样计划，以评估在极端天气/气候下污染物扩散的可能性	4			
实施控制洪水/地下水位上升导致污染物迁移的措施	3			
建造一个或多个植被堤、植被洼地、雨水塘、防洪堤或水坝，或安装装配式排水构筑物(如排水沟)，以截留或分流洪水/积水	5			
植种植被用于抵抗干旱或温度升高，如遮阳、控制土壤侵蚀或防风，或用于湿地或河岸环境的局部缓冲	5			
建造场地可再生供电系统，用于极端气候下的电力供应	3			
建立极端气候事件预警防控系统或平台，或制定极端气候应急预案	5			
归一化结果【0,1】	25/25	得分/25	得分/25	得分/25

B2.1.5 生态景观提升 (LS)

B2.1.5.1 生态空间拓展率 (Erate)

规划区内的污染地块规划为生态空间（建设为绿地、林地、公园、廊道、城市景观用地等园林绿地）的面积占比，计算公式见公式 14:

$$E_{rate} = \frac{\text{规划为生态景观用地的地块面积}}{\text{规划区内全部污染地块面积}} \times 100\% \dots\dots\dots \text{公式 14}$$

B2.2 经济 (Eco)

经济指标通过计算规划区内所有计划修复或管控的地块费效比 B/C 得到。成本即修复管控成本 (Cost)，效益考虑直接效益和间接效益，直接效益为修复管控后土地再开发利用的增值收益 (V_{land})，间接效益考虑生态景观提升所带来的生态系统服务价值 (E_{val}) 和景观娱乐功能价值 (A)，计算公式见公式 15:

$$B/C = \frac{V_{land} + E_{val} + A}{Cost} \dots\dots\dots \text{公式 15}$$

B2.2.1 修复管控成本 (Cost)

规划区内地块修复管控成本 (Cost) 将成本贴现至规划基准年，计算公式见公式 16:

$$Cost = \sum_{u=1}^U \sum_{t=1}^T \frac{C_{t,u}}{(1+r_t)^t} \dots\dots\dots \text{公式 16}$$

其中， t 为相较基准年未来第 t 年； $C_{t,i}$ 为第 t 年计划修复或管控的污染地块施工及管理直接成本； r_t 为第 t 年的贴现率。U 为规划期 T 内，规划区内计划完成修复管控的地块 u 的数量总和。

B2.2.2 直接和间接效益 (B)

B2.2.2.1 土地增值收益 (V_{land})

直接效益反映了规划期内规划区污染地块通过实施修复或风险管控，进行再开发利用的直接经济效益，即土地增值收益 (V_{land})，将净效益贴现至规划基准年，计算公式见公式 17:

$$V_{land} = \sum_{u=1}^U \sum_{t=1}^T \frac{B_{t,u}}{(1+r_t)^t} \dots\dots\dots \text{公式 17}$$

其中， $B_{t,u}$ 为第 t 年某修复或管控后的污染地块 u 再开发利用直接货币化收益。

对于修复后在原址开发利用为住宅、商业或经营性用地的污染地块， B_t 为土地再开发收益（单位：亿元），计算公式见公式 18：

$$B_{t(\text{修复})} = \text{第 } t \text{ 年单位面积土地出让金} \times \text{污染地块面积} \cdots \cdots \cdots \text{公式 18}$$

对于采取风险管控措施后，原址进行生态空间拓展、建设为公园绿地等非盈利性用地的污染地块， B_t 为地块周边 1km² 范围内土地出让平均价格上涨导致的土地增值收益（单位：亿元），计算公式见公式 19：

$$B_{t(\text{管控})} = \left(\frac{\text{第 } t \text{ 年单位面积土地出让金} - \text{基准年单位面积土地出让金}}{\text{基准年单位面积土地出让金}} \right) \times 1\text{km}^2 \cdots \cdots \cdots \text{公式 19}$$

对于采取风险管控的暂不开发利用地块， $B_{t(\text{管控})} = 0$ 。

B2.2.2.2 生态系统服务价值（Eval）

间接效益考虑生态系统服务价值（Eval）和景观和娱乐功能（A）两部分。

生态系统服务价值（Eval）反映修复或管控后地块恢复生态系统所提供的的服务价值。修复或风险管控后的地块通过规划为不同土地利用类型，相应具备不同程度的生态系统服务价值，参考谢高地等人（2003）的研究利用不同陆地生态系统单位面积生态服务价值进行计算。

修复或风险管控后地块的生态服务价值（Eval，元）计算公式如下，并将其贴现至规划基准年，计算公式见公式 20：

$$Eval = \sum_{u=1}^U \sum_{t=1}^T \frac{\sum_i^I P_{ij} \times A_{j,t,u}}{(1+r_t)^t} \cdots \cdots \cdots \text{公式 20}$$

其中， P_{ij} 为单位面积生态系统的生态服务价值，元/hm²，主要陆地生态系统单位面积生态服务价值参考见表 B.3。

$A_{j,t,u}$ 为第 t 年，修复或管控后地块 u 中的 j 类生态系统的面积，hm²；

表 B.3 不同陆地生态系统单位面积生态服务价值表 P_{ij} （元/hm²）

$\begin{matrix} i & \backslash & j \end{matrix}$	森林	草地	农田	湿地	水体	荒漠
气体调节	3 097.0	707.9	442.4	1 592.7	0.0	0.0
水源涵养	2 831.5	707.9	530.9	13 715.2	18 033.2	26.5

土壤形成与保护	3 450.9	1 725.5	1 291.9	1 513.1	8.8	17.7
废物处理	1 159.2	1 159.2	1 451.2	16 086.6	16 086.6	8.8
生物多样性保护	2 884.6	964.5	628.2	2 212.2	2 203.3	300.8
食物生产	88.5	265.5	884.9	265.5	88.5	8.8
原材料	2 300.6	44.2	88.5	61.9	8.8	0.0

B2.2.2.3 景观和娱乐功能（A）

景观和娱乐功能（A）提升包含生态旅游价值（ET）和景观美学价值（AM）。生态旅游价值（ET，单位：元）指场地修复后为场地及周边区域吸引更多游客的价值，对修复后场地及周边 1km² 开展生态旅游每年吸引的游客数量进行量化分析，通过直接市场价值法和旅行成本法进行估值与货币化计算，生态旅游价值（ET）还应包括修复后场地开展生态旅游为周边居民提供工作机会的价值。并将其贴现至规划基准年，计算公式见公式 21：

$$ET = \sum_{t=1}^T \frac{(E_t \times F_t + \sum_{n=1}^N S_n)}{(1+r_t)^t}$$

.....公式 21

其中， E_t 为修复后场地及周边 1km² 范围内开展生态旅游第 t 年吸引的游客数量，人/年；

F_t 为游客平均旅行成本，元/人，参照当地旅游景区平均收费物价标准估算；

N 为修复后场地开展生态旅游创造的工作岗位 n 的数量，个，可通过人员访谈、实地踏勘、调查问卷等方式获取；

S_n 为工作岗位 n 的薪资，元/年，各省生态旅游员工平均薪资参考当年市场薪资。

景观美学价值（AM）指修复后的场地景观提供的审美价值，为艺术工作者或周边居民提供艺术创作的灵感价值，可采用人员访谈、调查问卷等方式，通过支付意愿法进行评估，并将其贴现至规划基准年。

B2.3 社会（Sco）

B.2.3.1 地块受益人群（Pop）

通过污染地块修复或风险管控实现安全利用的受益人群数量（单位：人），采用地块所在区域 1km² 范围内的人口数量度量。

B.2.3.2 公众反馈（Pub）

地块所在区域及周边公众对地块现状（包括暂不开发利用、正在修复或风险管控施工、已完成修复或风险管控并安全利用）的认可程度，考虑因素包括：公众受到异味、噪音、扬尘等影响程度，公众对地块现状的直观感受好坏程度，地块及周边交通的便利性，地块及周边人居环境舒适度等，可通过人员访谈、问卷调查、投诉或公开信息打分等方式获取。

公众反馈为正向指标，采取定性打分方式，打分范围为 0~10 分，公众反馈打分表涵义见表 B.4。

表 B.4 公众反馈打分表涵义

序号	分值范围	涵义
1	0-3	日常生活受到较大干扰，直观感受较差，造成交通不便，总体舒适度差
2	4-6	日常生活受到一定程度干扰，直观感受可接受，交通影响可接受，舒适度一般
3	7-10	日常生活基本未受到影响，直观感受较好，交通未受到明显影响，舒适度较好。

规划区内所有污染地块的公众反馈最终结果计算方式见公式 22：

$$Pub = \frac{\sum_{n=1}^N Pub_n}{10 \times N} \dots \dots \dots \text{公式 22}$$

22

N 为规划区内所有污染地块的数量。

B.2.3.3 管理能力（CAPmanage）

反应规划区对污染地块采取修复或风险管控措施的监管能力水平，考虑因素包括：地区生态环境管理部门是否建立修复与风险管控名录并依法公开、定期更新，是否建立及更新污染地块优先监管清单并开展重点监测、落实风险管控措施，是否开发污染地块信息化监管平台并实现动态更新，是否建立与自然资源部门的用地规划衔接和准入管理机制，是否与住建、安监等相关部门开展修复与管控施工联合监管执法等，是否采取了鼓励或促进绿色低碳修复与风险管控的相关制度措施。

管理能力为正向指标，采取定性打分方式，打分范围为 0~10 分，管理能力打分表涵义见表 B.5。相关内容可通过搜索查询地区公开的相关信息、政策文件、专家咨询、座谈交流等方式获取。

表 B.5 管理能力打分表涵义

序号	分值范围	涵义
1	0-3	相关名录和清单依法建立并公开，优先监管地块风险管控措施未全部

		落实，未建立规划区内污染地块信息化监管平台，监管机制和制度建设不健全，综合管理能力较差。
2	4-6	相关名录和清单依法建立并公开，优先监管地块风险管控措施基本落实，规划区内污染地块信息化监管平台基本建立，逐步推动污染地块监管机制和制度建设，综合管理能力一般
3	7-10	相关名录和清单依法建立并公开，优先监管地块风险管控措施落实到位，规划区内污染地块信息化监管平台覆盖全面，污染地块监管机制和制度建设较为完善，具有明确的绿色低碳修复和风险管控导向，综合管理能力较好。
归一化结果 【0,1】		得分/10

附录 C
(资料性)
规划情景设计示例

根据污染地块安全开发利用与管控率高低、修复与风险管控可持续度高低，可定义 4 种规划情景，包括强可持续、强开发情景；强可持续、弱开发情景；弱可持续、强开发情景；弱可持续、弱开发情景。在各个规划情景下定义情景任务，包括明确区域内污染地块的未来土地利用方式、修复管控策略、修复管控施工周期、开发利用时序等内容。规划情景主要任务描述示例见表 C.1，规划情景与规划目标关系如图 C.1 所示。

表 C.1 不同规划情景主要任务描述示例

规划情景	规划目标	情景任务描述示例
情景 1: 强可持 续、强开 发情景	污染地块安全开发利 用与管控	在不增加占用林地、生态功能区等自然资源的前提下，尽可能多的污染地块实现修复后安全开发利用。
	修复与风险管控可持 续度	减少对自然资源的占用，尽可能采用异位集中式污染土壤治理措施，提高污染物削减通量； 强化行政监督管理，探索修复后土壤资源化利用渠道；强化修复与管控工程应对气候变化能力； 借助提升修复能源使用价格、加大污染排放处罚措施等经济和行政手段，积极采用清洁能源和可再生能源，严控能源资源消耗、二次污染和碳排放； 增加修复后土地房地产开发直接经济效益； 通过更加符合区域或社区绿化与审美需求的精细化景观设计提升生态系统服务价值。； 借助区域信息化管理和合理规划，提升管理能力。
情景 2: 强可持 续、弱开 发情景	污染地块安全开发利 用与管控	探索通过风险管控增加地块安全利用率，增加区域林地、绿地、廊道等自然生态景观和战略留白。
	修复与风险管控可持 续度	尽量采取原位修复措施或基于自然的解决方案，减少对自然环境的扰动，降低修复强度； 减少建设用地土地再开发利用需求，留白增绿，提升区域人均绿地率； 通过风险管控措施提升地块及周边应对气候变化适应性，增强极端气候条件抵御和恢复能力； 拓展区域生态空间，增加绿地面积，通过自然生态恢复与人文景观设计相结合提升总体景观生态价值。
情景 3: 弱可持 续、强开 发情景	污染地块安全开发利 用与管控	保障生态红线等基本环境底线的前提下，尽可能多的污染地块实现修复后安全开发利用。
	修复与风险管控可持 续度	对修复或管控过程中产生的二次污染排放、碳排放等环境影响，以及损耗的资源和能源，通过替代恢复、生态补偿、固碳技术等措施进行补偿； 通过加强风险交流等活动，获取公众的理解和正面反馈； 加强区域修复施工管理，提升污染地块规划管理能力； 弱可持续范式下，生态景观价值不作为主要规划考虑要素，在满足开发需求的前提下，可通过更加符合区域或社区绿化与审美需求的精细化景观设计提升生态系统服务价值。
情景 4: 弱可持	污染地块安全开发利 用与管控	保障生态红线等基本环境底线，结合区域规划适当合理增加居住用地和自然生态景观。

规划情景	规划目标	情景任务描述示例
续、弱开发情景	修复与风险管控可持续性	对修复管控策略的选择较为宽松，可结合区域社会经济发展水平、可供选择的修复或管控技术，以低成本为主要导向，开展修复管控策略制定； 对于修复管控过程中产生的二次污染、资源能源消耗、碳排放等环境影响，选择合适的生态补偿措施； 生态景观价值不作为主要规划考虑要素，在满足较低的开发需求前提下，可适当增加绿地面积，拓展生态空间，通过自然生态恢复与人文景观设计相结合提升总体景观生态价值。

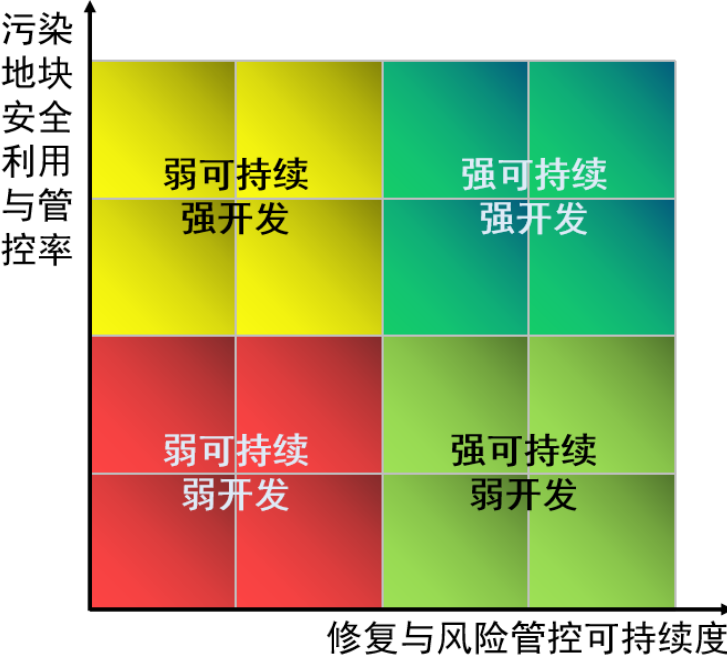


图 C.1 规划情景与规划目标关系示意图

附录 D
(资料性)
典型修复或管控技术推荐强度因子 (Fint)

典型修复或管控技术推荐强度因子 (Fint) 见表 D.1。

表 D.1 典型修复或管控技术推荐强度因子 (Fint)

序号	修复或管控类型	技术名称	推荐强度因子 (Fint)
1	原位修复	热解吸/热脱附 (燃气加热)	0.6
2		热解吸/热脱附 (电/生物质加热)	0.4
3		化学还原/氧化	0.4
4		气相抽提/多相抽提	0.2
5		强化生物降解	0.2
6		地下水循环井	0.2
7	异位修复	热解吸/热脱附 (燃气加热)	0.8
8		热解吸/热脱附 (电/生物质加热)	0.6
9		常温解析	0.6
10		化学还原/氧化 (原地回填)	0.6
11		生物反应堆/气相抽提	0.4
12		清挖异位填埋处置	0.8
13		水泥窑/陶粒窑协同处置	1
14		地下水抽出处理	0.8
15	风险管控	异位固化/稳定化 (原地回填)	0.6
16		原位固化/稳定化	0.4
17		监测自然衰减	0.1
18		原位渗透反应墙	0.2

附录 E
(资料性)
地块修复或管控二次污染物排放估算方法

对于已实施的修复或管控工程，可采用实测法获取大气常规污染物（SO₂、NO_x和颗粒物）的排放量。

对于尚未实施或无法通过实测法获取有效数据的修复或管控工程，可依据拟采用的修复管控技术、对应污染土壤方量，结合规划情景任务中设计的有关绿色低碳具体工程要求（如可再生能源、清洁能源的使用，绿电购置，废气处理装置等），对主要施工过程的潜在二次污染排放环节进行排放量估算，包括但不限于：机械设备投入使用台班数、现场发电机投入使用情况及功率和油耗参数、药剂和材料运输吨数和距离、主要运输车辆及吨公里能耗、污水处理设施运行时长、热脱附/淋洗/气相抽提等主要修复设施能耗和处理能力、尾气设施去除率等，依据上述关键环节参数，通过大气污染排放系数估算二次污染排放量。修复管控工程参考关注的关键环节及主要能耗指标见表 E.1。

表 E.1 关键环节及主要能耗指标

序号	二次污染关键环节	主要能耗指标
1	药剂和原材料车辆运输	燃油量
2	场内转运车辆运输	燃油量
3	异位清挖挖掘机	燃油量
4	柴油发电机	燃油量
5	污水处理设施运行	耗电量
6	修复设施运行	天然气、燃油量或耗电量
7	尾气处理设施运行	天然气、燃油量或耗电量

关键环节和设施的 NO_x、颗粒物（PM）和 SO₂ 等大气污染物排放系数，可参考《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》（生态环境部公告 2021 年 第 24 号）。其中，各省市不同类型机动车 NO_x、PM 排放系数参考《附 5 移动源-附表 1 机动车排放系数手册-第六部分系数表》

电力和部分能源折标煤系数可参考《综合能耗计算通则》（GB/T 2589-2020）。

附录 F
(资料性)
典型修复或管控技术的碳排放因子 (Y_{CO_2})

典型修复或管控技术的碳排放因子见表 F.1。

表 F.1 典型修复或管控技术的碳排放因子 (Y_{CO_2})

序号	修复技术	碳排放因子 (tCO_2/m^3 污染土)
1	异位热解吸技术原位热解吸技术	0.2
2	还原/氧化技术	0.08
3	风险管控	0.15
4	常温解析	0.025
5	固化/稳定化技术	0.003
6	原位气相抽提	0.032
7	异位气相抽提	0.015
8	清挖填埋强化生物降解技术水泥窑协同处置	0.04
9	陶粒窑协调处置	0.12
10	异位热解吸技术原位热解吸技术	0.008
11	还原/氧化技术	0.078
12	风险管控	0.078