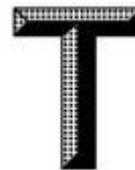


ICS 13.020.40

CCS Z 05



团 体 标 准

T/GIA 023—2023

污染土壤异位修复技术综合绩效评估规范 (试行)

**Guidelines for comprehensive performance assessment of ex-site
remediation technology of contaminated soil**

2023-02-15 发布

2023-05-15 实施

中关村中环土壤地下水污染防控与修复产业联盟 发布

目次

前 言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 评估原则	4
5 评估流程	4
6 评估指标体系	6
7 评估方法	9
8 评估报告	10
附录 A（资料性）数据收集表示例	11
附录 B（资料性）异位修复技术综合评估指标计算方法	13
附录 C（资料性）评估报告大纲	20
附录 D（资料性）案例示例	20

前 言

本文件按照 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》的规定起草。

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。

本文件由中关村中环土壤地下水污染防治与修复产业联盟提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院生态环境研究中心、中国计量大学、嘉兴学院、煜环环境科技有限公司、清华苏州环境创新研究院、浙江惠宇环境工程有限公司、山东地矿开元勘察施工总公司、广东工业大学、河南省地质矿产勘查开发局第一地质环境调查院、天津市鼎盛鑫环境科技有限公司、河北大美环境修复科技股份有限公司。

本文件主要起草人：焦文涛、丁宁、何燎、詹明秀、张跃进、周宏伟、张利昌、赵倩云、韩建均、江柳惠、陈冬冬、马栋、胡国庆、许杰、杨彦、陈文芳、石巍巍、何佳宁、闫珂、刘玉峰。

本文件在实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中关村中环土壤地下水污染防治与修复产业联盟标准委员会，以便修订。

联系邮箱：cngpc_org@126.com

污染土壤异位修复技术综合绩效评估规范（试行）

1 范围

本文件规定了污染土壤异位修复技术综合绩效评估的评估原则、评估流程、评估指标体系、指标核算、评估报告等技术要求。

本文件适用于污染土壤的异位修复技术综合绩效评估工作，包括异位化学氧化/还原、异位热脱附、异位土壤洗脱、水泥窑协同处置、异位微生物降解等技术，其他异位修复技术综合评估可参照本文件执行。

2 规范性引用文件

本文件引用了下列文件或其中的条款。凡注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件。凡不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB/T 24034 环境管理环境技术验证

GB/T 24040 环境管理生命周期评价原则与框架

GB/T 24044 环境管理生命周期评价要求与指南

GB 50231 机械设备安装工程施工及验收通用规范

GB 50254 电气装置安装工程低压电器施工及验收规范

GB 50303 建筑电气工程施工质量验收规范

HJ 25.4 土壤污染异位热脱附修复技术导则

HJ 76 固定污染源烟气（SO₂、NO_x、颗粒物）排放连续监测系统技术要求及检测方法

HJ 662 水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范

HJ 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

HJ 1164 污染土壤修复工程技术规范异位热脱附

3 术语和定义

HJ 1164和HJ 662定义的污染场地和异位热脱附修复技术相关术语和定义适用于本文件。

3.1 土壤修复 soil remediation

采用物理、化学或生物的方法固定、转移、吸收、降解或转化地块土壤中的污染物，使其含量降低到可接受水平，或将有毒有害的污染物转化为无害物质的过程。

【来源：HJ 682】

3.2 异位修复 ex situ remediation

将受污染的土壤或地下水从地块发生污染的原来位置挖掘或抽提出来，搬运或转移到其他场所或位置进行治理修复。

【来源：HJ 1231】

3.3 生命周期 Life cycle

技术系统中前后衔接的一系列阶段，包括技术实施准备阶段、技术实施阶段到技术实施后最终处置过程。

【来源：改写自GB/T 24040】

3.4 综合评估 comprehensive evaluation

对异位修复技术从技术、环境、经济、资源和社会五个维度开展评估。

4 评估原则

4.1 综合性原则，应涵盖技术指标、资源指标、环境指标、经济指标、社会指标五个方面。

4.2 生命周期原则，应考虑技术应用的整个生命周期。

4.3 公平公正原则，评估报告宜由第三方机构编写，应完整、准确、客观记录评估依据、数据、方法、假设和评估结果。

5 评估流程

5.1 评估流程

异位修复技术评估主要流程见图1。

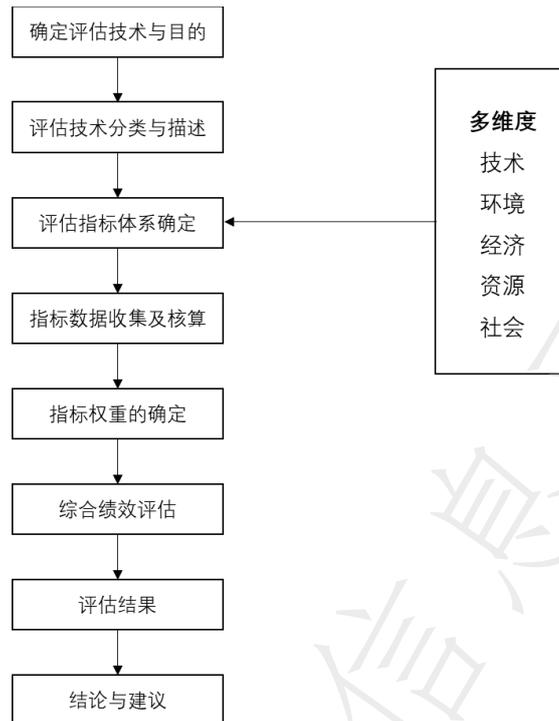


图1 异位修复技术评估主要流程图

5.2 评估内容

5.2.1 确定评估技术与目标

确定要评估的异位修复技术和进行技术综合绩效评估的目标。

5.2.2 评估技术分类与描述

对技术种类进行划分，描述技术基本信息，应涵盖技术工艺过程、技术应用效果、技术水平等。

5.2.3 评估指标体系确定

基于评估技术的特征，确定技术评估的技术、环境、经济、资源和社会指标。详见“6 评估指标体系”部分。

5.2.4 指标数据收集及核算

基于指标体系，确定各项指标数据收集方法、统计或计量数据来源、数据质量控制方案等。数据如来源于修复场地调研，则场地应满足GB 50231、GB 50254、GB 50303等施工规范。

5.2.5 指标权重确定

宜采用主观赋权、客观赋权方法对各级指标权重进行赋值。

5.2.6 综合评估

对技术进行多维度综合评估，包括各级指标的核算与加权计算。

5.2.7 评估结果

应详细描述技术评估结果，包括不同维度结果、综合评估结果、不同维度对综合结果贡献等。

5.2.8 结论与建议

评估者宜针对综合评估结果，提出提升异位修复技术综合绩效和对比遴选的建议。

6 评估指标体系

6.1 指标体系

评估指标体系分为准则层、分类层和指标层。其中准则层包括技术、环境、经济、资源和社会五个维度，分类层是维度内指标分类，指标层则是对分类层的进一步细化，具体量化各项评估内容。指标体系分为定性指标和定量指标；正向指标和负向指标。评估指标体系框架见表1。

6.1.1 技术指标

技术指标包括污染物去除率、单位时间处理量、二次污染物产生情况、故障情况等。可参照GB/T 24034技术文件获取。如需不同技术特征指标，评估者可设置相关指标。

6.1.2 环境指标

环境指标包括废气产生量及污染物类型、固废产生量及污染物类型、废水产生量及污染物类型、噪声产生量、异味、温室气体排放、生态损害、人体健康等。生命周期评估应依据GB/T 24040和GB/T 24044开展。噪声及大气排放应满足并参照GB 12348、GB 16297和HJ 76。

6.1.3 经济指标

经济指标包括修复技术投资建设费用、单位污染土壤修复生命周期成本、直接收益、间接收益等。

6.1.4 资源指标

资源指标包括能源消耗、原辅料损耗、水资源消耗、技术应用过程余热回用、技术应用过程水资源循环利用、技术应用过程气体循环利用等。应根据HJ 25.4和HJ 1164规定的修复过程开展数据收集和环境影响评估。

6.1.5 社会指标

社会指标包括提供就业岗位数量、收入与平均社会工资对比、当地公众态度、职业暴露 风险等。

表1 综合评估指标体系

准则层	分类层	指标层	指标定义	指标性质	定性/定量
技术	效率	污染物去除率	对目标污染物的去除率情况（去除率达到标准情况）	正向	定量
		单位时间处理量	单位时间内的处理效率情况	正向	定量
	运行	二次污染物产生情况	是否产生其他二次污染物（产生超标、产生但不超标、不产生）	负向	定性
		故障情况	是否可以稳定运行，产生故障情况（未发生故障、轻微故障、严重故障影响运行）	负向	定性
（其他指标或需关注的技术特征指标）		
环境	直接环境因素	废气产生量及污染物类型	修复过程中产生的废气、恶臭等	负向	定量
		固废产生量及污染物类型	污染土壤预处理产生的固体废物、废水处理产生的污泥等	负向	定量
		废水产生量及污染物类型	气液分离产生得到的废气、洗气废水、清洗废水等	负向	定量
		噪声产生量	设施运行过程中的噪声影响	负向	定量
		异味	设施运行过程中的臭气	负向	定量
	全过程环境影响	温室气体排放	生命周期评估方法指标	负向	定量
		生态损害	生命周期评估方法指标	负向	定量
		人体健康	生命周期评估方法指标	负向	定量
经济	成本	修复技术投资建设费用	技术运行的总投资建设费用，并上报各种投资建设子项目类别以及相应的费用	负向	定量
		单位污染土壤修复生命周期成本	技术实施过程中所涉及的水费、电费、气费、人工费、原辅材料费、设备维护与修理费、仓储费、废物处理费、设备折旧费等相关运行费用	负向	定量
		直接收益	修复单位土壤净利润	正向	定量

	收益	间接收益	修复单位土壤所减少的处置成本	正向	定量
资源	生命周期消耗	能源消耗	电力、天然气等	负向	定量
		原辅料消耗	消耗脱水剂、调理剂、气味抑制剂等	负向	定量
		水资源消耗	新鲜水等	负向	定量
	过程资源循环利用情况	技术应用过程余热回用	可利用余热量	正向	定量
		技术应用过程水资源循环利用	可利用循环水量	正向	定量
		技术应用过程气体循环利用	可利用循环气体量	正向	定量
社会	就业收入	提供就业岗位数量	单位投资额下创造的工作岗位	正向	定量
		收入与社会平均工资对比	从业人员的收入水平分析	正向	定量
	社会影响	当地公众态度	居民或当地单位对技术相关项目在当地投资运行的态度	正向	定性
		职业暴露风险	指员工是否有直接暴露在不良工作环境条件的情况，以及何种类的不良工作环境	负向	定性

6.2 指标核算

按照附录A进行收据收集、处理后，按照指标定义进行核算。指标分为定性指标和定量指标。定量指标按照附录B公式核算。定性指标按照附录B提供的量级，进行0-1之间打分。全过程环境影响指标按照生命周期评价方法进行核算。

7 评估方法

先将指标进行无量纲化处理，确定权重后进行综合绩效评价。参考附录D。

7.1 指标无量纲化

指标无量纲化应区分定性指标和定量指标，正向指标和负向指标。

7.1.1 定量指标无量纲化

正向指标无量纲化见（1）：

$$y = \begin{cases} 1 & x \geq a_2 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & a_1 < x < a_2 \\ 0 & 0 \leq x \leq a_1 \end{cases} \quad \text{公式（1）}$$

负向指标无量纲化见（2）：

$$y = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq a_1 \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1} & a_1 < x < a_2 \\ 0 & x \geq a_2 \end{cases} \quad \text{公式（2）}$$

式中：

a_1 指标的上限值；

a_2 上限指标的下限值；

x 原始指标值；

y 指标无量纲化后的指标值。

a_1 、 a_2 的确定可依据评估指标和数据质量，从以下三种方法中选取：（1）针对本指标体系，每个指标设置一个统一的 a_1 和 a_2 ，对所有类型技术均采用该上下限；（2）针对每一种特定技术，每个指标设置一个专属 a_1 和 a_2 ，即不同的技术类型对应的上下限值不同；（3）对于进行比较的几种技术，对每个指标，各技术最高值为上限 a_2 ，最低值为下限 a_1 。

7.1.2 定性指标无量纲化

定性指标参考专家经验和现场调研进行分级量化，取值介于0-1之间，无需再进行无量纲化，即 $y = x$ 。

7.2 权重确定方法

7.2.1 根据准则层的相对重要程度确定维度的权重，权重值 $0 < W_i < 1$ ，且维度权重值之和等于1。

7.2.2 根据指标层的相对重要程度确定指标的权重，权重值 $0 < W_i < 1$ ，且同一维度权重值之和等于1。

7.2.3 根据评估目标和数据质量确定指标体系的权重。在具有一定数量同类技术数据的情况下，可采用信息量法（熵值法）赋权；在无充足的现有数据时，可采用层次分析法赋权，即用户或专家打分确定权重，也可采用平均权重赋权。

7.3 综合评估

通过加权平均、逐层收敛得到待评估技术在第*i*个维度下的得分 D_i 按公式（3）计算：

$$D_i = \sum_{j=1}^m (w_{ij} \sum_{k=1}^n \omega_{ijk} y_{ijk}) \quad (3)$$

式中：

w_{ij} ——第*i*个维度、第*j*个分类层的权重；

ω_{ijk} ——第*i*个维度、第*j*个分类层、第*k*个指标的权重；

y_{ijk} ——第*i*个维度、第*j*个分类层、第*k*个指标无量纲化数值；

对各个维度的值进行加权平均可得到综合评估总分 S 按公式（4）计算：

$$S = \sum_{i=1}^p D_i \quad (4)$$

7.4 评估结果解释

根据各项待评估技术的多维绩效评估指数，确定各项技术得分的排序，分析影响评估指数数值高低的原因。

8 评估报告

评估报告宜由第三方机构编写，应完整、准确、客观记录评估依据、数据、方法、假设和评估结果。

评估报告应阐明评估技术的各维度特征或优化改进方向，应包括但不限于以下内容：（1）技术评估工作的背景及异位修复技术概况；（2）评估范围与目标；（3）指标体系与数据来源；（4）权重及综合评估方法；（5）结果、结论与建议。

附录 A
(资料性)
数据收集表示例

准则层	分类层	指标层		数据	单位/备注
		修复污染土壤量			t
		主要污染物类型			
技术	效率	污染物去除率			%
		单位时间处理量			t/h
	运行	二次污染物产生情况			污染物种类、量或者污染物严重程度
		故障情况			次数或者严重程度
环境	直接环境影响	废气产生量	苯		/
					/
			二甲苯		/
					/
			VOCs		/
			SO ₂		/
			NO _x		/
			颗粒物		/
		铅及其化合物		/	
		……			
		固废产生量	泥渣		t/工期
			废活性炭		t/工期
			废 PAC 药剂包装袋		个/工期
			废气味抑制剂包装桶		个/工期
			废 HDPE 膜		t/工期
			除尘灰		t/工期
			废 UV 灯管		组/工期
			除铁器废料		t/工期
			废片碱包装袋		个/工期
			生活垃圾		t/工期
			……		
			废水产生量	COD	
		BOD			mg/L
		NH ₃ -N			mg/L
		石油类			mg/L
		SS			mg/L
		工业废水产生量			m ³ /t
生活废水产生量		L/人/天			

				
		噪声	测量值		分贝
			等级		/
		异味	臭气浓度		/
			异味强度		m ³ /t 修复土壤
			单位臭气浓度		/
			排气筒气体流量		m ³ /h
			单位土壤排气量		m ³ /h/t
经济	成本	修复技术投资建设费用			万元
		修复成本			万元
		单位污染土壤修复成本			元/t 修复土壤
	收益	直接收益			元/t 修复土壤
		间接收益			元/t 土壤
资源	生命周期消耗指标	能源消耗	电力		kWh/t 修复土壤
			汽油		kWh/t 修复土壤
			天然气		Nm ³ /t 修复土壤
				
		原辅料消耗	片碱		kg/t 修复土壤
			聚合氯化铝 (PAC)		kg/t 修复土壤
			气味抑制剂		kg/t 修复土壤
			生石灰		kg/t 修复土壤
				
		水资源消耗			
	过程资源循环利用情况	技术应用过程余热产生量			
		余热回用量			
		余热循环利用率			%
		技术应用过程废水产生量			
		废水回用量			
技术应用过程水资源循环利用			%		
技术应用过程气体回用量					
技术应用过程气体循环利用			%		
社会	就业收入	提供就业岗位数量			人
		平均收入			元
		平均收入与社会平均工资对比			%
	社会影响	当地公众态度			/
		职业暴露风险			/

注 1：指标计算参照附录 B。

附录 B

(资料性)

异位修复技术综合评估指标计算方法

B.1 技术指标

B.1.1 效率指标

(1) 污染物去除率

① 指标解释

对目标污染物的去除比例，单位：%。

② 计算方法见公式（B1）：

$$\text{污染物去除率} = \frac{\text{报告期内土壤污染物被成功去除的总量}}{\text{报告期内土壤污染物总量}} \quad (\text{B1})$$

③ 所需参数：报告期内，技术实施全过程中，所涉及的所有污染物的种类及数量。

④ 数据来源：统计、在统计数据缺乏的情况下采用国家GB/T系列、行业HJ系列、国际ISO系列等标准方法进行实测。

(2) 单位时间处理量

① 指标解释

单位时间内的处理污染土壤的效率情况，单位 t/h。

② 计算方法见公式（B2）：

$$\text{单位时间处理量} = \frac{\text{报告期内处理污染土壤总量}}{\text{报告期内时间}} \quad (\text{B2})$$

③ 所需参数：报告期内，技术实施全过程中，所涉及的处理量和时间。

④ 数据来源：在统计数据缺乏的情况下采用国家GB/T系列、行业HJ系列、国际ISO系列等标准方法进行实测。

B.1.2 运行指标

(1) 二次污染物产生情况

① 指标解释

衡量异位修复技术产生二次污染物情况，产生量或者程度（产生少量、产生大量、产生超标）的指标。

② 计算方法：定性指标，根据调研情况打分（0-1 分）。

③ 所需参数：报告期内，使用异位修复技术产生的废水、废气、废渣、噪音等二次污染物总量。

④ 数据来源：统计、在统计数据缺乏的情况下采用国家GB/T系列、行业HJ系列、国际ISO系列等标准方法进行实测。

(2) 故障情况

① 指标解释

是衡量异位修复设备是否可以稳定运行，产生故障次数或程度（未发生故障、轻微故障、严重故障影响运行）的指标。

② 计算方式：报告期内使用该技术所发生的故障次数或程度。

③ 所需参数：报告期内，异位修复技术实施全过程中，未发生故障、轻微故障、严重故障影响运行的次数。

④ 数据来源：统计。

B.2 资源指标

B.2.1 消耗指标

(1) 能源消耗

① 指标解释

指在异位修复技术应用过程中，对能源的消耗总量与修复土壤总量的比重。

② 计算方式见公式（B3）：

$$\text{能源消耗} = \frac{\text{报告期内使用该技术所消耗的能源总量}}{\text{报告期内土壤的修复总量}} \quad (\text{B3})$$

③ 所需参数：报告期内原煤、天然气、电力、洗精煤、焦炭、其他焦化产品、焦炉煤气、其他煤气、原油和汽油的损耗量。

④ 数据来源：统计。

(2) 原辅料消耗

① 指标解释

指在异位修复技术应用过程中，消耗的所有原料和辅料。

② 计算方式见公式（B4）：

$$\text{原辅料消耗} = \frac{\text{报告期内使用该技术所消耗的原辅料}}{\text{报告期内土壤的修复总量}} \quad (\text{B4})$$

③ 所需参数：报告期内产生的脱水剂、调理剂等。

④ 数据来源：统计。

(3) 水资源消耗

① 指标解释

指在异位修复技术应用过程中，对水资源的消耗总量与修复土壤总量的比重。

② 计算方式见公式（B5）：

$$\text{水资源消耗} = \frac{\text{报告期内使用该技术所消耗的水资源}}{\text{报告期内土壤的修复总量}} \quad (\text{B5})$$

③ 所需参数：报告期内所使用的新鲜水水量，包括地表水、地下水和城镇供水。

④数据来源：统计、监测。

B. 2. 2 过程资源循环利用情况

(1) 技术应用过程余热回用

① 指标解释

指异位修复技术已利用余热占生产中可利用余热总量的百分率。

② 计算方式见公式（B6）：

$$\text{余热利用率(\%)} = \frac{\text{已利用余热}}{\text{可利用余热总量}} \times 100\% \quad (\text{B6})$$

③ 所需参数：报告期内，异位修复技术实施全过程中，余热的所有来源及对应的产生量，其中可利用的余热，以及已利用的余热。

④ 数据来源：统计。

(2) 技术应用过程水资源循环利用

① 指标解释

指异位修复技术已利用水资源占生产中可利用水资源总量的百分率。

② 计算方式见公式（B7）：

$$\text{水资源利用率(\%)} = \frac{\text{已利用水资源}}{\text{可利用水资源总量}} \times 100\% \quad (\text{B7})$$

③ 所需参数：报告期内，异位修复技术实施全过程中，水资源的所有来源及对应的产生量，其中可利用的水资源，以及已利用的水资源量。

④ 数据来源：统计。

(3) 技术应用过程气体循环利用

① 指标解释

指异位修复技术已利用气体占生产中可利用气体总量的百分率。

② 计算方式见公式（B8）：

$$\text{技术应用过程气体循环利用(\%)} = \frac{\text{已利用气体}}{\text{可利用气体总量}} \times 100\% \quad (\text{B8})$$

③ 所需参数：指在使用异位修复技术对土壤修复的过程中，循环利用的氧、二氧化碳、氮等的总量。

④ 数据来源：统计。

B. 3 环境指标

B. 3. 1 直接环境影响

(1) 废气产生量及污染物类型

① 指标解释

指在应用异位修复技术修复土壤时，所产生的废气总量及与修复土壤总量的比重及各类污染物排放量。

② 计算方式见公式（B9）：

$$\text{废气产生量} = \frac{\text{报告期内使用该技术所产生的废气总量}}{\text{报告期内土壤的修复总量}} \quad (\text{B9})$$

③ 所需参数：异位修复技术实施过程中所产生的工业废气总量。

④ 数据来源：统计、实测。

（2）固废产生量及污染物类型

① 指标解释

指在应用异位修复技术修复土壤时，所产生的固体废弃物总量及与修复土壤总量的比重。

② 计算方式见公式（B10）：

$$\text{固废产生量} = \frac{\text{报告期内使用该技术所产生的固废总量}}{\text{报告期内土壤的修复总量}} \quad (\text{B10})$$

③ 所需参数：异位修复技术实施过程中所产生的固体颗粒、垃圾、炉渣等总量及各类型污染物排放量。

④ 数据来源：统计、实测。

（3）废水产生量及污染物类型

① 指标解释

指在应用异位修复技术修复土壤时，所产生的废水总量与修复土壤总量的比重。

② 计算方式见公式（B11）：

$$\text{废水产生量} = \frac{\text{报告期内使用该技术所产生的废水总量}}{\text{报告期内土壤的修复总量}} \quad (\text{B11})$$

③ 所需参数：异位修复技术实施过程中所产生的废水总量各类型污染物排放量。

④ 数据来源：统计、实测。

（4）噪声产生量

① 指标解释

指在应用异位修复技术过程中，所产生的噪声最大值，单位：分贝。

② 计算方式：检测值。

③ 所需参数：异位修复技术实施过程中所产生的噪声排放。

④ 数据来源：统计、根据公司相关财务报表进行核算。

（5）异味

① 指标解释

指在应用异位修复技术修复土壤时，所产生的带有刺激性气味的情况。

② 计算方式：检测值。

③ 所需参数：相关仪器检测挥发性有机物或臭气强度。

④ 数据来源：检测。

B.3.2 全过程环境影响

(1) 温室效应

① 指标解释

指采用生命周期评估的方法进行核算，在异位修复技术应用过程中，修复单位污染土壤时时造成的温室气体排放，单位： $\text{kg CO}_2\text{-eq./t}$ 。

② 计算方式：生命周期评估环境环境影响评估方法核算。

③ 所需参数：异位修复技术使用过程中产生碳排放的所有数据。

④ 数据来源：统计、根据生产流程对数据进行核算或实测、已有数据库数据。

(2) 生态损害

① 指标解释：

指采用生命周期评估的方法进行核算，在异位修复技术应用过程中，修复单位土壤时造成的生态损害。

② 计算方式：生命周期评估环境环境影响评估方法核算。

③ 所需参数：异位修复技术使用过程中产生生态损害效应的所有数据。

④ 数据来源：统计、根据生产流程对数据进行核算或实测、已有数据库数据。

(3) 人体健康

① 指标解释：

指采用生命周期评估的方法进行核算，在异位修复技术应用过程中，修复单位土壤时造成的人体健康。

② 计算方式：生命周期评估环境环境影响评估方法核算。

③ 所需参数：异位修复技术使用过程中人体健康的所有数据。

④ 数据来源：统计、根据生产流程对数据进行核算或实测、已有数据库数据。

B.4 经济指标

B.4.1 成本

(1) 修复技术投资建设费用

① 指标解释

技术运行的总投资建设费用，并上报各种投资建设子项目类别以及相应的费用。

② 计算方式：采用问卷调查、调研的形式来核算。

③ 所需参数：报告期内企业实施土壤修复技术所需的基本建设投资成本、土壤修复实际过程的项目收益（每年）。

④ 数据来源：统计、根据相关财务报表进行核算、问卷。

(2) 单位污染土壤修复成本

① 指标解释

指异位修复技术应用过程中，修复单位土壤所获得的利润。

② 计算方式见公式（B12）：

$$\text{修复单位土壤的直接收益} = \frac{\text{报告期内总成本}}{\text{报告期内修复土壤总量}} \quad (\text{B12})$$

③所需参数：报告期内企业进行土壤修复所投入的总成本，包括基本建设成本以及技术实施过程中所涉及的水费、电费、气费、人工费、原辅材料费、设备维护与修理费、仓储费、废物处理费、设备折旧费等相关费用。

④数据来源：统计、根据公司相关财务报表进行核算。

B.4.2 收益

(1) 直接收益

① 指标解释

指异位修复技术应用过程中，修复土壤所获得的利润。

② 计算方式见公式（B13）：

$$\text{修复土壤的直接收益} = \frac{\text{报告期内总利润}}{\text{报告期内修复土壤总量}} \quad (\text{B13})$$

③所需参数：报告期内企业通过土壤修复技术实施获取的总利润。

④数据来源：统计、根据公司相关财务报表进行核算。

(2) 间接收益

① 指标解释

指异位修复技术应用过程中，修复土壤所减少的处置成本。

② 计算方式见公式（B14）：

$$\text{修复土壤的间接收益} = \frac{\text{报告期内应用该技术减少的处置成本}}{\text{污染土壤总量}} \quad (\text{B14})$$

③所需参数：原常规土壤处置方式成本，指污染土壤未修复时采取的检测、管控措施。

④数据来源：统计、根据公司相关财务报表进行核算，通过调研获取土壤常规处置方式的成本。

B.5 社会指标

B.5.1 就业收入

就业收入包括提供就业岗位数量和收入与社会平均工资对比。

(1) 提供就业岗位数量

① 指标解释

指单位投资额直接从事与异位修复技术相关的工作岗位的人员总数，单位：人/万元。

② 计算方式见公式（B15）：

$$\text{提供就业岗位数量} = \frac{\text{提供工作岗位人数}}{\text{总建设费用}} \quad (\text{B15})$$

③所需参数：问卷调查结果、统计调研结果。

④数据来源：调研，模型计算。

(2) 收入与社会平均工资对比

① 指标解释

指直接从事与该技术相关的工作岗位的人员的平均工资与社会平均工资的对比情况。

② 计算方式见公式（B16）：

$$\text{收入与社会平均工资对比} = \frac{\text{人员平均工资}}{\text{当地平均工资}} \quad (\text{B16})$$

③所需参数：涉及该技术的相关岗位及其工资水平，当地社会平均工资水平。

④数据来源：统计，核算，对企业进行调查获取相关数据。

B.5.2 社会影响

(1) 当地公众态度

① 指标解释

反映该技术在当地的实施是否受当地居民欢迎，一定程度上体现当地公众态度的风险，从居民角度衡量该技术实施的社会效益。

② 计算方式：定性指标，根据程度打分（0-1 分）

调查问卷如下，主要包括 4 个问题：

1. 您的居住地位于？

2. 您是否知道位于本地的修复场地？

A. 是 B. 否

3. 您是否知道该场地用如下技术处理污染土壤？

（问卷本身应该在此对修复技术进行相应描述）

A. 是 B. 否

4. 您如何评估该技术对本地带来的影响？

非常负面○1 ○2 ○3 ○4 ○5 ○6 ○7 非常正面

根据上述调查问卷进行如下数据处理。

1. 进行问卷筛选

所有题目填写完成，并且第二题选择 A 的问卷为有效问卷。有效问卷数量要求不少于 50 份。

2. 公众态度得分计算见公式（B17）：

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{7n} \quad (\text{B17})$$

A——指标当地公众态度的分值

n——有效问卷的份数

si——第 i 份有效问卷中第四题的得分

③ 所需参数： 问卷调查结果、调研结果

④ 数据来源： 调研

(2) 职业暴露风险

① 指标解释

指员工是否有直接暴露在不良工作环境条件的情况，以及何种类的不良工作环境。

② 计算方式：定性指标，根据程度打分（0-1 分）

根据员工的工作环境进行定性评级，共分为 8 级，下列 8 种情况存在一种累计加一级，最低 0 级，最高 8 级。具体包括 a. 暴露在腐蚀/有毒化学品环境下； b. 暴露在高温表面； c. 暴露在高速部件和泼溅条件下； d. 暴露在高压电下； e. 暴露在高分贝噪音下； f. 暴露在难闻气味下； g. 暴露在充满灰尘工作条件下。

③ 所需参数与数据获得

检测单位到技术实施现场进行实地考察，根据该技术具体的工作环境，是否涉及上述 8 个暴露风险，来进行评级打分。

④ 数据来源： 调研。

附录 C

(资料性)

评估报告大纲

- 1 评估背景及技术介绍
 - 1.1 评估背景与目的
 - 1.2 技术介绍
- 2 评估流程
 - 2.1 评估流程
 - 2.2 评估内容
- 3 评估指标体系
 - 3.1 指标体系确定
 - 3.2 数据来源
 - 3.3 数据结果
- 4 综合评估
 - 4.1 无量纲化
 - 4.2 权重计算方法及结果
 - 4.3 综合评估
 - 4.4 评估结果
- 5 结论及建议

附录 D
(资料性)
案例示例

D.1. 评估背景及技术介绍

D.1.1 评估背景及目的

本评估以两种异位热脱附修复技术：直接和间接技术为例开展评估，按照《污染土壤异位修复技术综合评估规范》开展。

D.1.2 技术介绍

两种技术场地基本信息如表1所示：

表1 两种技术场地基本信息

直接热脱附基本信息			
填报时间	2021.04	运行周期	30个月
去除主要污染物及含量	苯、乙苯、二甲苯、石油烃、单环芳烃及麝香类等	修复土壤总量	160013 m ³
间接热脱附基本信息			
填报时间	2020.12	项目建设周期	1个月
去除主要污染物及含量	六氯苯、1,2-二溴乙烷、1,1,2-三氯甲烷、臭味、铅	修复土壤总量	29770.75 m ³

D.2. 评估范围

评估范围包括技术的供料系统、脱附系统和尾气处理系统。

直接热脱附技术项目主要建设内容为主体工程、储运工程、公用工程、环保工程、辅助工程等，包括办公区、撬装污水处理装置 1 座、药剂库房 1 间、危废暂存间、污染土壤预处理上料车间 1 座、热脱附修复区 2 处（热脱附设备 2 套、热脱附尾气处理装置 2 套）、污染土壤暂存区 1 处、移动式车间 1 座等、燃料站 1 个、洗车池 1 个、待检区 2 处、修复后土壤临时暂存区 1 处。本工程所有建筑均为新建临时建筑。土壤在预处理车间脱水、筛分、除铁、上料。回转窑使用天然气为原料加热土壤。经过加热的土壤使用水加湿降温，处理过程中产生的废气依次通过旋风除尘、氧化焚烧室、急冷冷却、布袋除尘器、碱液喷淋后达标排入大气。热脱附过程中不产生废水。

异位间接修复设备包含与处理单元 1 套、热风发生装置 1 套、热脱附本体设备 1 套、尾气净化单元 1 套。土壤在预处理车间脱水、筛分、上料。回转窑使用天然气为原料加热土壤。经过加热的土壤使用水加湿降温，除尘器、喷淋洗涤、活性炭吸附后达标排放；产生的废水统一收集至收集池后泵抽至场地内的污水处理设备进行集中处置，达标排放。

D.3. 评估指标体系与数据收集

D.3.1 指标体系

本案例采用标准推荐的通用指标，未添加特征指标。

D.3.2 数据来源

数据主要来源于现场走访、场地实时监测数据、场地环境检测报告、建设项目环境影响报告、场地环境风险评估报告、项目总结报告等，总结如表2:

表2 数据情况表

准则层	分类层	指标层	直接	间接	单位	
技术	效率	污染物去除率	99%	99%	/	
		单位时间处理量	20	7	t/h	
	运行	二次污染物产生情况	轻微	轻微	/	
		故障情况	轻微	轻微	/	
环境	直接环境影响	废气产生量	苯	0.000921	/	g/t 污染土
			二甲苯	2.51592	/	g/t 污染土
			VOCs	7.902008	/	g/t 污染土
			SO ₂	0.066113 g	/	g/t 污染土
			NO _x	215.3971	/	g/t 污染土
			颗粒物	13.38776 g/t 污染土	0.1477mg/m ³	/
			铅及其化合物	/	0.1977	ug/m ³
		固废产生量	泥渣	1.9	/	t/工期
			废活性炭	1.951	/	t/工期
			废 PAC 药剂包装袋	200	/	个/工期
			废气味抑制剂包装桶	160	/	个/工期
			废 HDPE 膜	54182	/	t/工期
			除尘灰	37.6468	/	t/工期
			废 UV 灯管	3	/	组/工期
			除铁器废料	5	/	t/工期
			废片碱包装袋	1200	/	个/工期
			生活垃圾	10	/	t/工期
		废水产生量	COD	50	12.117	mg/L
			BOD	10	/	mg/L
			NH ₃ -N	6	1.526	mg/L
			石油类	/	0.4	mg/L
			SS	27.5	/	mg/L
			工业废水产生量	0.00858	0.2	m ³ /t
生活废水产生量	100		100	L/人/天		
噪声	测量值	45	80-100	分贝		
	等级	0	5	/		

		异味	臭气浓度	131	15	/
			单位臭气浓度	6.55	2.142857143	/
			排气筒气体流量	65000	3500	m ³ /h
			单位土壤排气量	3250	500	m ³ /h/t
经济	成本	修复技术投资建设费用		3500	1000	万元
		单位污染土壤修复生命周期成本		1250	907.2	元/m ³
	收益	直接收益		190	100	元/m ³
		间接收益		570	/	元/m ³
资源	生命周期消耗	能源消耗	电力	800	150	kWh
			每吨土耗电	40	21.42857143	kWh/t
			天然气	146.2288353	50	Nm ³ /m ³
		原辅料消耗	片碱	0.0987	/	Kg/t
			PAC	0.0164	/	Kg/t
			气味抑制剂	0.263	/	Kg/t
	生石灰		0.02	0.03	t/t	
	水资源损耗		0.051	0.2	m ³ /t	
	过程资源循环利用情况	技术应用过程余热回用		/	/	/
		技术应用过程水资源循环利用		100	100	%
技术应用过程气体循环利用		/	/	/		
社会	就业收入	提供就业岗位数量		28	14	人
		收入与社会平均工资对比		一致	高 2.22 倍	/
	社会影响	当地公众态度		轻微	轻微	/
		职业暴露风险		轻微	轻微	/
说明	1.表中数据原则上均按确定的统计周期填写，监测数据以正规机构出具的实际报告为准；					
	2.5类环境噪声按昼夜划分：0类 50分贝 40分贝；1类 55分贝 50分贝；2类 60分贝 50分贝；3类 65分贝 55分贝；4类 70分贝 55分贝。					
	3.当地公众态度主要指居民或当地单位因担心该土壤修复技术建设项目对身体健康、环境质量和资产价值等带来诸多负面影响，从而激发厌恶心理，导致采取强烈的、甚至是高度情绪化的集体反对甚至抗争行为。					
	4.天然气密度按 0.7174 kg/Nm ³ 计算。					
	5.天然气热量按照每立方米 38.98 MJ 计算。					
	6.干土壤热容按 800 J/kg°C计算。					
	7.中国采用的煤当量热值为 29.3 MJ/kg。					

D.3.3 数据结果

对原始数据进行处理，能源消耗、原辅料消耗和直接环境影响指标对各类细分项进行加和；生命周期环境影响指标按照生命周期评价方法建模计算，得出各项二级指标结果如表3所示。

表3 数据结果表

准则层	指标层	直接	间接	单位
技术	污染物去除率	99%	99%	/
	单位时间去除率	20	7	t/h
	二次污染物	轻微	轻微	/
	故障情况	轻微	轻微	/
环境	大气污染物			
	固废			
	水污染物			
	噪声	0	5	/
	异味	131	15	/
	碳排放	109	50.3	kg CO ₂ -Equiv.
	生态毒性	0.446	0.0994	kg DCB-Equiv.
	人体健康	17.5	0.566	kg DCB-Equiv.
经济	修复技术投资建设费用	3500	1000	万元
	单位污染土壤修复成本	1250	907.2	元/m ³
	直接收益	190	100	元/m ³
	间接收益	570	/	元/m ³
资源	能源消耗	3730	1200	MJ
	原辅料消耗	0.0000205	0.0000101	Kg
	水资源损耗	0.051	0.2	m ³ /t
	余热回用	/	/	/
	水资源循环利用	100	100	%
	气体循环利用	/	/	/
社会	就业机会	28	14	人
	收入与社会平均工资对比	一致	高 2.22 倍	/
	当地公众态度	轻微	轻微	/
	职业暴露风险	轻微	轻微	/

D.4. 综合评估

D.4.1 无量纲化

为保证评估的准确性，所有指标在计算权重前先进行标准化，正向指标选择两场地中较大一项作为标准 1，负向指标选择两场地中较小一项作为标准 1，标准化后所

有指标值在 0-1 之间。若某项指标只在单一场地出现则舍弃不做标准化。结果如表4所示：

表4 标准化数值

准则层	指标层	直接二级得分	间接二级得分
技术	污染物去除率	1	1
	单位时间处理量	1	0.35
	二次污染物	1	1
	故障情况	1	1
环境	废气污染	1	0.1
	固废污染	1	0.63
	废水污染	0.24	1
	噪声	1	0
	异味	0.327154	1
	碳排放	0.461468	1
	生态损害	1	0.22
	人体健康	1	0.032342857
经济	修复技术投资建设费用	0.2857143	1
	单位污染土壤修复成本	0.72576	1
	直接收益	1	0.526316
	间接收益	1	0
资源	原辅料消耗	0.492683	1
	能源消耗	0.321716	1
	水资源损耗	1	0.255
社会	就业机会	1	0.5
	社会收入	0.534759	1
	当地公众态度	1	1
	职业暴露风险	1	1

D.4.2 权重计算方法及结果

本研究中权重系数通过层次分析法确定，方法中不同环境指标的重要性标度及其含义如表5所示。

表5 指标的重要性标度

重要性标度 a_{ij}	描述	重要性标度 a_{ij}	描述
1	两因素重要度相同	9	i 比 j 极重要
3	i 比 j 稍重要	2,4,6,8	标度中间值
5	i 比 j 重要	倒数	j 与 i 相比
7	i 比 j 很重要		

上表将不同维度指标间的相对重要性定量化，在此基础上，根据方根法或和积方法可求得各个指标的权重大小。本研究根据多位专家意见及文献资料，定性和定量相结合，并综合考虑多种因素，得出不同维度指标重要性标度如表6 所示，而具体指标则采用均一权重，则假定个指标之间同等重要。

表6 不同维度层重要性标度

	技术	资源	环境	经济	社会
技术	1	1/3	1/5	3	3
环境	5	3	1	7	9
经济	1/3	1/5	1/7	1	5
资源	3	1	1/3	5	7
社会	1/3	1/7	1/9	1/5	1
权重	0.118	0.265	0.513	0.071	0.033

所求权重系数结果如表7 所示：

表7 权重系数结果

准则层	指标层	二级权重	一级权重
技术	污染物去除率	0.25	0.118
	单位时间去除率	0.25	
	二次污染物	0.25	
	故障情况	0.25	
环境	废气污染	0.13	0.513
	固废污染	0.13	
	废水污染	0.13	
	噪声	0.13	
	异味	0.13	
	碳排放	0.13	
	生态损害	0.13	
	人体健康	0.13	

经济	修复技术投资建设费用	0.25	0.071
	单位污染土壤修复成本	0.25	
	直接收益	0.25	
	间接收益	0.25	
资源	原辅料消耗	0.33	0.265
	能源消耗	0.33	
	水资源损耗	0.33	
社会	就业机会	0.25	0.033
	社会收入	0.25	
	当地公众态度	0.25	
	职业暴露风险	0.25	

D.4.3 指标核算结果

两场地指标总结对比如表8。用图表表示两场地对比情况如图1、图2和图3所示。

表8 指标总结对比表

准则层	指标层	直接	间接	直接	间接
技术	污染物去除率	0.25	0.25	0.118	0.099
	单位时间处理量	0.25	0.09		
	二次污染物	0.25	0.25		
	故障情况	0.25	0.25		
环境	废气污染	0.13	0.01	0.387	0.255
	固废污染	0.13	0.08		
	废水污染	0.03	0.13		
	噪声	0.13	0.00		
	异味	0.04	0.13		
	温室效应	0.06	0.13		
	生态损害	0.13	0.03		
人体健康	0.13	0.00			
经济	修复技术投资建设费用	0.07	0.25	0.053	0.045
	单位污染土壤修复成本	0.18	0.25		
	直接收益	0.25	0.13		
	间接收益	0.25	0.00		
资源	原辅料消耗	0.16	0.33	0.160	0.199
	能源消耗	0.11	0.33		
	水资源损耗	0.33	0.09		

社会	就业机会	0.25	0.13	0.029	0.029
	社会收入	0.13	0.25		
	当地公众态度	0.25	0.25		
	职业暴露风险	0.25	0.25		
总分				0.747	0.627

D.5 结论及建议

总体而言，间接场地评分略高于直接场地，主要原因在于其在环境指标和技术指标方面的优势。直接场地虽然污染土处理效率高于间接场地，但直接场地的单位土壤的耗电量、燃料消耗量、综合能耗都高于间接场地，传热效率低于间接场地，导致其技术指标偏低，同时排放更多的温室气体，温室效应指标偏低。另一方面直接场地排放的污水各项污染物浓度偏高，对环境指标产生负面影响。

在资源指标、经济指标、社会指标方面直接场地优于间接场地。直接场地在资源指标方面的优势主要来自其相对较少的耗水量和排水量，以及水资源消耗所占的高权重。经济指标方面直接场地优于间接场地是由于直接场地有较高的直接受益，且间接场地报告期内应用该技术减少的土壤处置成本尚不明确。社会指标方面间接场地平均工资高于直接场地平均工资，但提供就业机会只有直接场地的一半，导致整体社会指标直接场地更优。

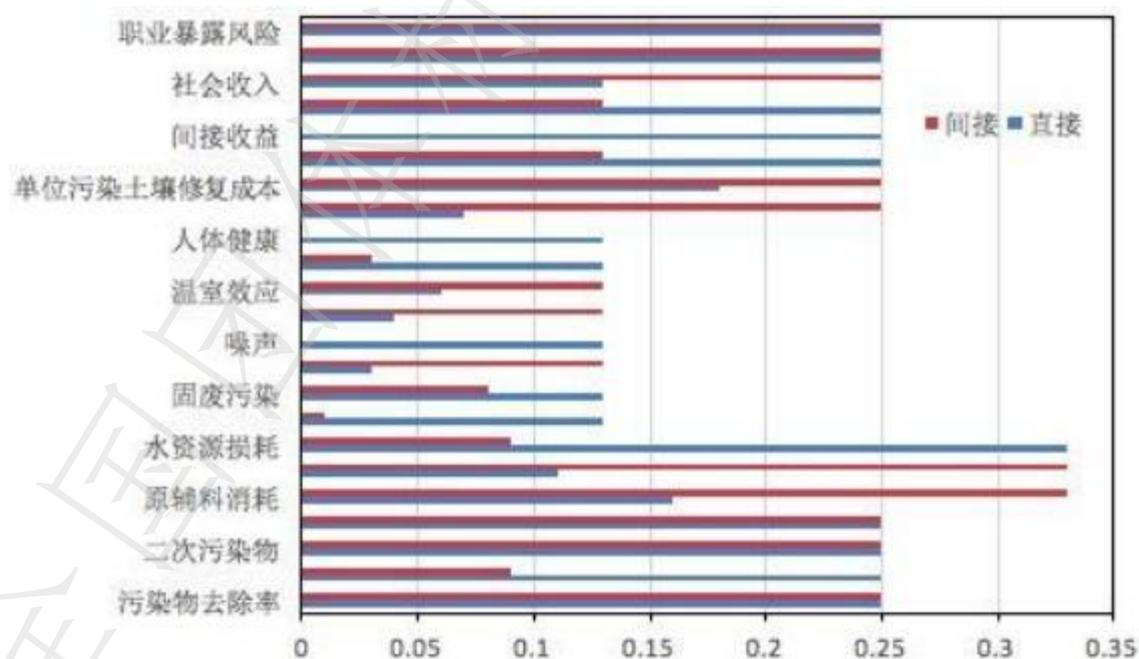


图1 两场地二级指标

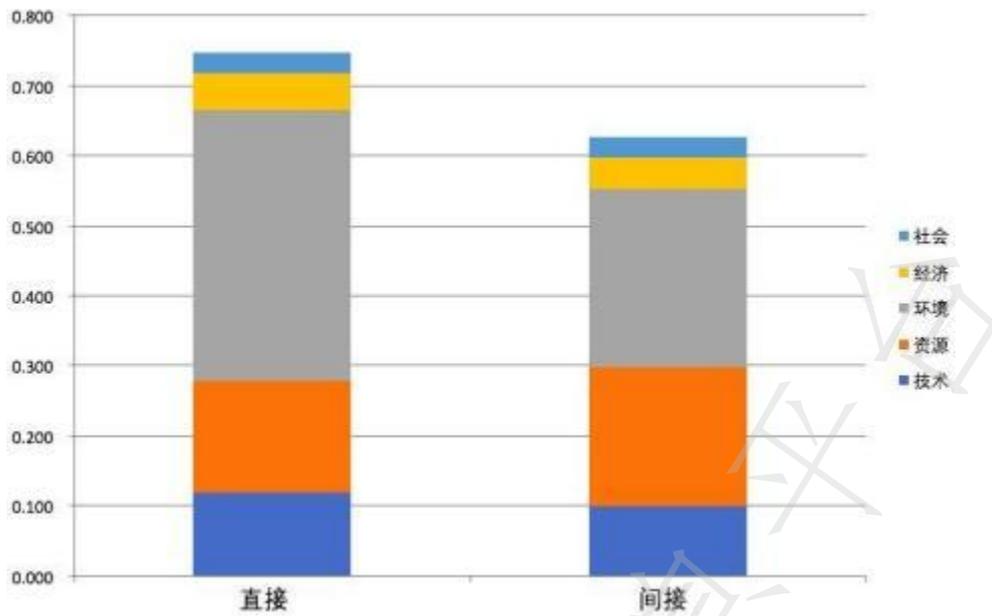


图2 两场地一级指标对比如图

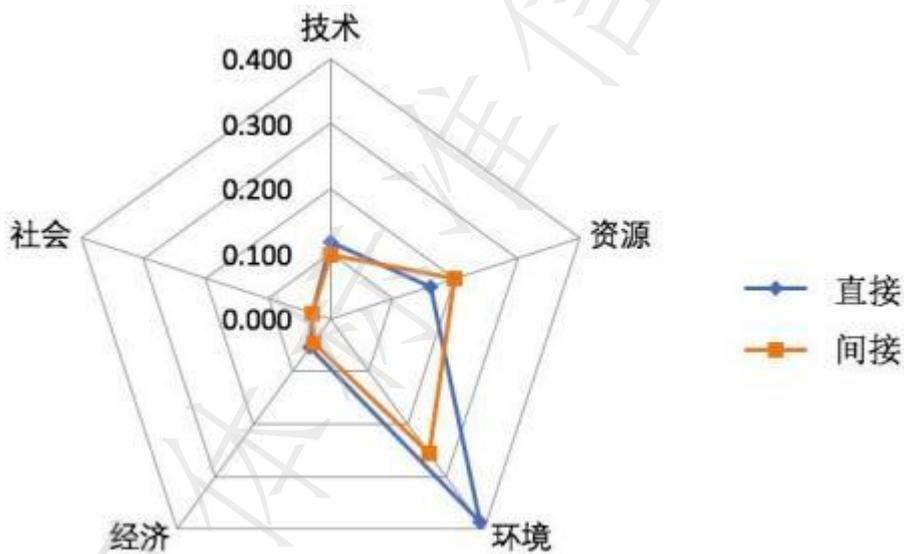


图3 两场地综合对比雷达图

结合五项一级指标的权重，间接场地总分高于直接场地。环境指标方面的优势以及环境指标的高权重是间接场地的主要原因。在社会指标、经济指标、资源指标方面直接场地均获得较高的评分，两场地各有优势。比较时要注意两场地虽然都是用异位热脱附技术，但所去除目标污染物不同，因而产生的二次污染物种类和浓度也有所差异。