

青海某加油站遗留地块土壤与地下水现状调查与分析

杨国航¹, 吕晓建¹, 陈飞², 徐冬冬¹, 郝建青¹

(1. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038; 2. 北京中地泓科环境科技有限公司, 北京 100028)

[摘要] 青海某加油站遗留地块在关闭多年后一直处于闲置状态, 现将其规划为公共设施用地, 在地块开发利用前需对地块开展土壤与地下水污染状况调查。根据污染识别、初步调查、详细调查和风险评估结果, 地块土壤存在石油烃($C_{10} - C_{40}$)污染, 污染原因与地下油库中油料长期泄漏、渗漏或“跑冒滴漏”有较大关联, 污染深度为2~9 m, 污染土方量为8 480.29 m³。本次调查评估工作可为该加油站地块后续的风险管控或治理修复工作提供依据, 为类似加油站地块土壤污染状况调查和风险评估提供有效参考。

[关键词] 加油站; 土壤污染调查; 地下水; 风险评估; 石油烃; 土壤修复

[中图分类号] X508

[文献标志码] B

[文章编号] 2097-2423(2025)05-0106-11

DOI: 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2025.05.016

0 引言

随着我国经济的发展和城市化进程的加快, 机动车数量日益增加, 随之而来的加油站也越来越多, 若管理不善, 很容易发生泄漏, 对土壤和地下水造成污染^[1-2], 尤其是早年间的加油站由于技术和工艺落后、管理不善、使用年限较长, 渗漏、泄漏或“跑冒滴漏”的风险更高, 对周边生态环境造成影响的机会更大^[3-4]。加油站具有污染危害大、污染特征不清、修复难度高等特点, 是土壤和地下水的重要潜在污染源之一^[5]。近年来, 因加油站泄漏造成的事故屡见不鲜, 因此对加油站进行土壤和地下水污染状况调查, 摸清加油站的污染特征、污染物类型及污染

水平, 是防治土壤和地下水污染的重要举措, 也是保障生态环境和人体健康的必然要求^[6]。本文以青海省某加油站遗留地块为例, 依据相关标准和导则, 通过污染识别、初步调查、详细调查和风险评估, 探讨了加油站遗留地块土壤污染状况调查和风险评估的工作程序和技术要点, 为类似项目提供重要借鉴和参考。

1 地块概况

1.1 使用历史

地块占地面积约2万m², 建筑面积约7 000 m², 包括3座地下油库、1座办公室、1座门卫室和1座厕所。1996年之前为荒地, 1996—2005年建设加油站并正常运营, 2005年停止使用, 2005年之后至今, 加油站一直处于闲置状态。

1.2 水文地质条件

地块地层岩性从上到下依次为杂填土层、细砂土层和砂砾石土层, 具体特征见表1。地下水类型为松散岩类孔隙水, 地下水埋深5.13 m, 总体流向为西北→东南。

2 土壤污染调查流程

地块土壤污染状况调查工作包括三个阶段, 流程如图1所示。

[收稿日期] 2025-03-16

[作者简介] 杨国航(1991—), 女, 山东济宁人, 硕士, 中级工程师, 主要从事土壤地下水调查评估与修复、矿山生态修复治理等技术工作。

[引用格式] 杨国航, 吕晓建, 陈飞, 等. 青海某加油站遗留地块土壤与地下水现状调查与分析[J]. 绿色矿冶, 2025, 41(5): 106-116.

YANG Guohang, LV Xiaojian, CHEN Fei, et al. Investigation and analysis of soil and groundwater status of an abandoned gas station in Qinghai[J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2025, 41(5): 106-116.

表1 地块地层岩性

| 序号 | 地层岩性 | 岩性特征 |
|----|-------|-------------------------------------------------|
| 1 | 杂填土层 | 呈黑褐色,稍密,潮湿,土质较均匀,质地疏松,手捏易碎,平均厚度约0.82 m |
| 2 | 细砂土层 | 呈褐黄色,稍密,潮湿,质较均匀,手搓有明显砂感,岩芯多呈短柱状,平均厚度约1.53 m |
| 3 | 砂砾石土层 | 呈褐黄色,稍密,潮湿,砾石含量约20%,砂质以细砂为主,含量约占75%,平均厚度约6.72 m |

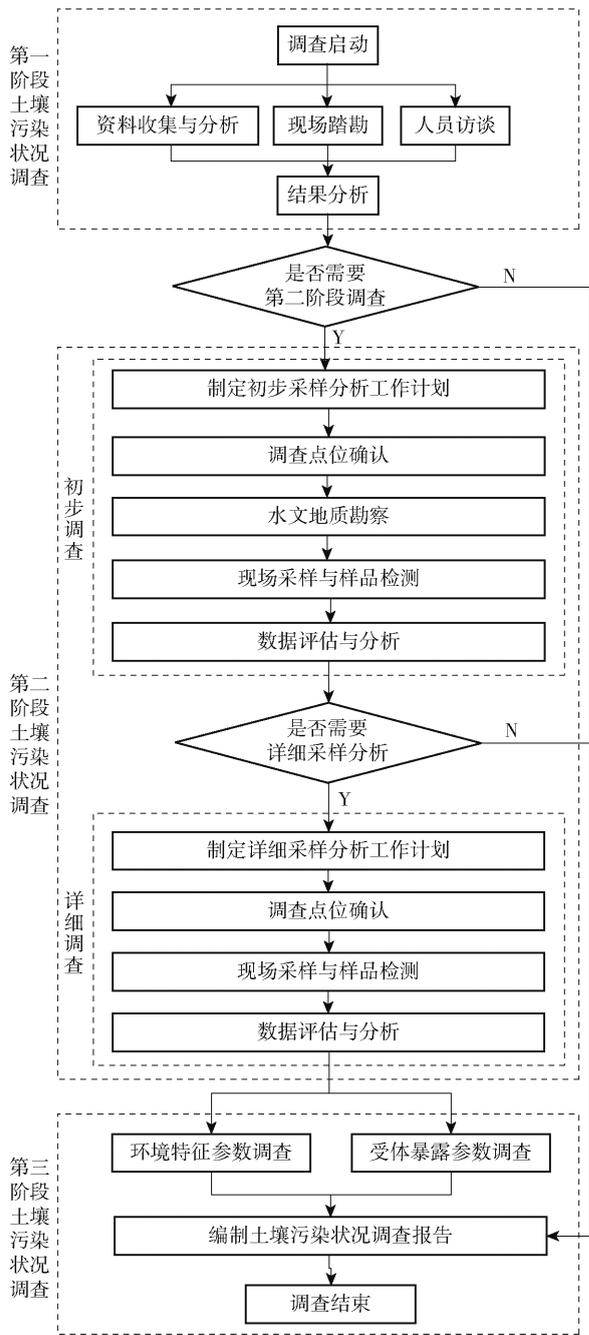


图1 地块土壤污染状况调查流程

3 第一阶段土壤污染状况调查

该阶段通过资料收集与分析、现场踏勘和人员访谈等方式,掌握并分析地块生产历史、周边活动、

功能区布局、主要产品、生产工艺及原辅材料等,识别地块的潜在污染物和重点潜在污染区域。

3.1 资料收集

资料收集要详尽、全面、真实,主要包括地块功能区布局、地块利用变迁资料、环境资料、相关记录、有关政府文件以及地块所在区域的自然和社会信息等。对于加油站地块,应特别注意地下储罐、油库、管线(水、电、气、油等)等可能造成泄漏、渗漏和跑冒滴漏建筑物设计图纸的收集。

3.2 现场踏勘

现场踏勘时重点踏勘地块水文地质条件;周边环境敏感目标;地下储罐和管线分布,判断其是否存在泄漏及可能泄漏的区域,确定潜在污染源位置;明确地块内及周边是否有监测井或民用水井,并了解其利用情况,预判地下水水位,观察井水水质,判断是否存在油花、油污或非水相液体等。

现场踏勘过程中,调查人员可携带挥发性有机物快速检测仪(PID)和重金属快速检测仪(XRF)等便携式检测设备,通过现场快速测定、气味识别、肉眼观察、拍照和记录等方式初步判断地块的污染状况。

3.3 人员访谈

人员访谈采取电话、当面交流或书面调查表等方式对资料收集和现场踏勘获得的地块信息进一步补充、验证与确认。

访谈对象为地块现状或历史的知情人,主要包括地块管理机构、地方政府人员,环境保护行政主管部门人员,地块过去和现在各阶段使用者,以及地块所在地或熟悉地块的第三方(相邻地块的工作人员和附近的居民)。

访谈内容包括加油站地块历史利用方式及其变更情况,是否发生营运转手情形,地下储罐、管线位置与分布,是否曾发生汽油、柴油渗漏、泄漏事件或生产安全事故及其后续处理处置情况,与环境污染和安全生产相关异常操作情形等。

3.4 污染识别结果

通过资料收集与分析、现场踏勘和人员访谈发

现,加油站从1996年建成到2005年停止使用期间只进行过机动车辆使用油品的存储和零售,未进行过其他生产活动。现场踏勘时发现地块内存在3座地下油库,其中2号地下油库内积存有液体,散发出较大油品气味,存在污染的可能性较大,因此将3座地下油库及其附近区域作为重点潜在污染区域。

根据资料分析并结合《加油站地块土壤污染状况调查技术指南》(DB32/T 4003—2021)要求,加油站地块使用过程中可能会因地下油库泄漏、渗漏或“跑冒滴漏”造成多环芳烃、苯系物、铅、石油烃($C_6 - C_9$)、石油烃($C_{10} - C_{40}$)和甲基叔丁基醚等污染,需要开展第二阶段土壤污染状况调查。

4 第二阶段土壤污染状况调查

该阶段是以土壤和地下水采样分析为主的污染证实阶段,分初步采样和详细采样两步进行。根据初步采样分析结果,如果污染物浓度均未超过评价

标准以及清洁对照点浓度,并且经过不确定性分析确认不需要进一步调查,第二阶段调查工作结束,否则认为可能存在环境风险,应进行详细采样分析,确定加油站地块污染物种类、程度和范围。

4.1 初步调查

4.1.1 监测点位布设

4.1.1.1 土壤监测点位布设

1)土壤监测点布设。在进行点位布设时,土壤监测点位尽可能布设在储罐区、管线区等重点区域以及加油站历史渗泄漏区域。本地块采用“系统布点法+专业判断布点法”,共布设20个土壤监测点位,重点潜在污染区域满足 $40\text{ m} \times 40\text{ m}$ 的布点密度,并通过专业判断适当挪动点位,确保原储罐区、管线区等重点区域以及加油站历史渗泄漏区域至少分别布设1个土壤采样点位,地下水上游方向布设1个,地块中心区域布设1个、下游方向分散布设2个,具体点位布设如图2所示。

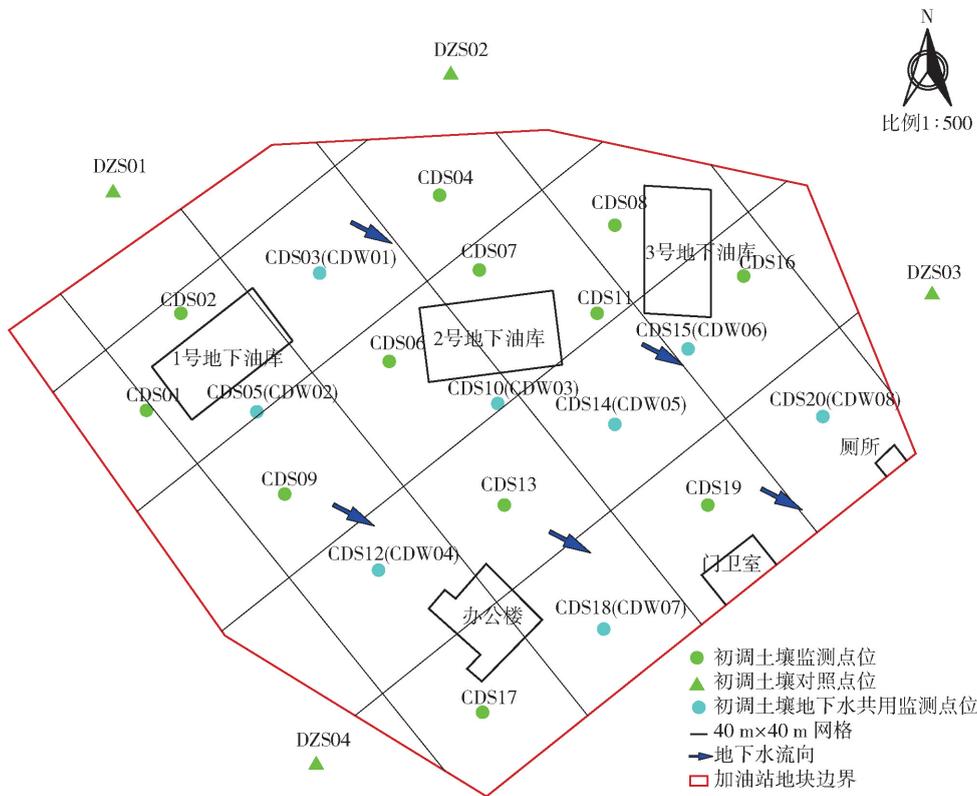


图2 初步调查地块土壤及地下水监测点和对照点布设图

2)土壤对照点布设。地块外东、西、南、北4个方向表层土壤未被扰动处分别布设1个土壤对照点,且确保地下水上游方向布设1个土壤对照点,每个对照点等间距采取3组土壤表层样品,具体点位布设见图2。

4.1.1.2 地下水监测井布设

地下水监测井根据地下水流向,并结合污染识别结果进行布设。本地块按照地下水流向(西北→东南),在3座地下油库附近及空地区域布设8个地下水监测井,在地下水上游选择一处满足要求的民

用水井作为对照点。为了解污染物在土壤和地下水中的迁移情况,将地下水监测井点与土壤监测点合并,具体点位布设见图1。

水文地质勘察与地下水监测井建井统筹考虑,明确加油站地块地下水含水层、隔水层分布、厚度、岩性、土壤渗透系数、地下水稳定水位及流场等关键信息。

4.1.2 采样深度

土壤采样深度满足浅层地下水稳定水位以下3 m或储罐底板以下3 m,一般最深至潜水层底板。0~0.5 m土壤表层、不同土层及分层处、初见水位处、感官异常和现场检测数据较高处、采样最深处等均至少采集1份土壤样品,且确保0.5~6.0 m采样间隔不超过2 m。

根据地块所处区域含水层类型及埋深,地下水监测井深度设计为10~15 m。

4.1.3 监测因子

土壤监测因子为《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600—2018)表1中基本项目45项和污染识别确定的特征污染物石油烃($C_{10}-C_{40}$)、石油烃(C_6-C_9)、多环芳烃和甲基叔丁基醚。

地下水监测因子为《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)中表1常规指标(不含放射性指标和微生物指标)和污染识别出的土壤特征污染物乙苯、苯乙烯、对(间)二甲苯、邻二甲苯、多环芳烃、石油烃(C_6-C_9)、石油烃($C_{10}-C_{40}$)和甲基叔丁基醚。

4.1.4 筛选标准

地块未来规划为公共设施用地,属于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》(GB 36600—2018)中第二类用地,土壤筛选标准采用第二类用地筛选值4 500 mg/kg,该标准中未列入的特征污染物以对照点平均含量作为比对标准。

地下水污染物浓度值比标准选择《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)Ⅲ类水标准,此标准中不包括的特征污染物石油烃($C_{10}-C_{40}$)参照《上海市建设用地地下水污染风险管控筛选值补充指标》(沪环土[2020]62号)规定的第二类用地筛选值,多环芳烃(总量)参照《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)规定的限值,石油烃(C_6-C_9)和甲基叔丁基醚将对照点平均浓度作为比对标准。

4.1.5 调查结果分析

4.1.5.1 土壤调查结果

初步调查结果显示,土壤中石油烃($C_{10}-C_{40}$)

超标,超标点位为CDS05、CDS10和CDS15,主要分布在3个地下油库下游,超标样品7个,超标率6.93%,最大超标倍数0.33,具体数据分析见表2。

表2 初步调查超标点位分析

| 石油烃($C_{10}-C_{40}$) 超标点位 | 超标深度/ m | 点位浓度/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ | 超标 倍数 |
|--------------------------------|------------|-----------------------------------------|----------|
| CDS05 | 3.8~4.0 | 4 983 | 0.11 |
| | 5.8~6.0 | 5 664 | 0.26 |
| CDS10 | 2.7~3.0 | 4 798 | 0.066 |
| | 3.7~4.0 | 4 905 | 0.090 |
| CDS15 | 5.7~6.0 | 4 672 | 0.038 |
| | 3.7~4.0 | 5 969 | 0.33 |
| | 5.7~6.0 | 4 636 | 0.030 |

通过初步调查,确定地块内土壤中石油烃($C_{10}-C_{40}$)存在污染风险,需进行下一阶段的详细调查。

4.1.5.2 地下水调查结果

初步调查结果显示,地下水中检测指标均未超标,表明地块内的生产活动对地下水环境造成污染的可能性较小。

4.2 详细调查

4.2.1 土壤监测点位布设

详细调查阶段,在初调超标点位CDS05、CDS10和CDS15及附近涉嫌污染的区域按照20 m×20 m网格进行加密布点,共布设15个土壤监测点位,命名为XDS1~XDS15,如图3所示。

在初调结果显示超标深度的上下层加密采集土壤样品,且最大采样深度至初步调查确定的最大污染深度。

土壤监测因子为初调阶段确定的关注污染物石油烃($C_{10}-C_{40}$)及常规指标pH值。

石油烃($C_{10}-C_{40}$)筛选标准选用第二类用地筛选值4 500 mg/kg。

4.2.2 土壤调查结果

详细调查结果显示,15个土壤监测点位中存在9个点位土壤石油烃($C_{10}-C_{40}$)超标,超标点位为XDS01、XDS03、XDS04、XDS07、XDS09、XDS10、XDS11、XDS12和XDS13,主要分布于3个地下油库下游,超标样品47个,超标率34.56%,最大超标倍数0.33,超标深度2~9 m,具体数据分析见表3。

4.2.3 超标原因分析

根据初调和详调地块土壤石油烃($C_{10}-C_{40}$)超标点位分布(图3),超标点位主要分布于3个地下油库下游。经综合分析,历史上加油站建设技术落

表3 详细调查超标点位数据分析

| 石油烃(C ₁₀ - C ₄₀) 超标点位 | 超标深度/ m | 点位浓度/ mg·kg ⁻¹ | 超标 倍数 |
|-------------------------------------------------|------------|------------------------------|----------|
| XDS01 | 2.5~2.7 | 4 680 | 0.04 |
| | 3.5~3.7 | 5 260 | 0.17 |
| | 4.5~4.7 | 5 270 | 0.17 |
| | 8.3~8.5 | 4 550 | 0.01 |
| XDS03 | 3.5~3.7 | 4 908 | 0.09 |
| | 4.5~4.7 | 5 679 | 0.26 |
| | 5.5~5.7 | 4 680 | 0.04 |
| XDS04 | 2.5~2.7 | 4 860 | 0.08 |
| | 3.5~3.7 | 5 969 | 0.33 |
| | 4.5~4.7 | 4 990 | 0.11 |
| | 5.5~5.7 | 4 857 | 0.08 |
| XDS07 | 2.5~2.7 | 4 596 | 0.02 |
| | 3.5~3.7 | 4 636 | 0.03 |
| | 4.5~4.7 | 4 768 | 0.06 |
| | 5.5~5.7 | 5 205 | 0.16 |
| | 6.5~6.7 | 5 678 | 0.26 |
| | 7.5~7.7 | 4 809 | 0.07 |
| XDS09 | 2.5~2.7 | 4 685 | 0.04 |
| | 3.5~3.7 | 4 786 | 0.06 |
| | 4.5~4.7 | 5 239 | 0.16 |
| | 5.5~5.7 | 5 680 | 0.26 |
| | 6.5~6.7 | 5 024 | 0.12 |
| | 7.5~7.7 | 4 890 | 0.09 |
| | 8.8~9.0 | 4 609 | 0.02 |
| XDS10 | 2.5~2.7 | 4 585 | 0.02 |
| | 3.5~3.7 | 4 686 | 0.04 |
| | 4.5~4.7 | 5 339 | 0.19 |
| | 5.5~5.7 | 5 580 | 0.24 |
| | 6.5~6.7 | 5 224 | 0.16 |
| | 7.5~7.7 | 4 590 | 0.02 |
| XDS11 | 2.5~2.7 | 4 525 | 0.01 |
| | 3.5~3.7 | 4 617 | 0.03 |
| | 4.5~4.7 | 4 980 | 0.11 |
| | 5.5~5.7 | 5 080 | 0.13 |
| | 6.5~6.7 | 4 869 | 0.08 |
| | 7.5~7.7 | 4 690 | 0.04 |
| XDS12 | 2.5~2.7 | 4 525 | 0.01 |
| | 3.5~3.7 | 4 617 | 0.03 |
| | 4.5~4.7 | 4 980 | 0.11 |
| | 5.5~5.7 | 5 080 | 0.13 |
| | 6.5~6.7 | 4 869 | 0.08 |
| | 7.5~7.7 | 4 690 | 0.04 |
| XDS13 | 4.5~4.7 | 4 689 | 0.04 |
| | 5.5~5.7 | 5 380 | 0.20 |
| | 6.5~6.7 | 5 869 | 0.30 |
| | 7.5~7.7 | 4 890 | 0.09 |
| | 8.8~9.0 | 4 786 | 0.06 |

后、管理不善、地下油库防渗不佳等原因可能导致柴油、汽油等油类的长期泄漏、渗漏或“跑冒滴漏”，从而对土壤造成污染，随着时间的推移和地表径流，污染物在土壤中进一步扩散、迁移和沉积，进而形成目

前的污染状况。

5 第三阶段土壤污染状况调查

本阶段以补充采样和测试为主,主要包括加油站地块特征参数调查和受体暴露参数调查,以获得满足风险评估及土壤修复所需的参数。本阶段调查工作在第二阶段调查过程中同时开展。

为获取地块土壤污染状况风险评估相关土工参数(土壤有机质、容重、含水率、颗粒密度),在地块内布设5个具有代表性的土工样点位(图3)。

初调和详调结果显示,地块中地下水各检测指标均未超标;地块中土壤存在12个监测点位共计54个样品中石油烃(C₁₀ - C₄₀)超标,超标深度为2~9 m,最大超标含量为5 970 mg/kg,最大超标倍数为0.33,这说明地块土壤中石油烃(C₁₀ - C₄₀)可能存在一定的人体健康风险,建议进行下一阶段的土壤污染状况风险评估工作。以土壤污染状况调查结果为基础,结合土壤中石油烃(C₁₀ - C₄₀)对人群的主要暴露途径,定量判断石油烃(C₁₀ - C₄₀)对人体健康的致癌风险和非致癌风险,计算风险控制值,确定修复目标和污染土方量。加油站地块风险评估技术路线如图4所示。

5.1 危害识别

地块未来规划为公共设施用地,属于《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》(GB 36600—2018)中第二类用地,可能的暴露人群主要为成人,土壤关注污染物为石油烃(C₁₀ - C₄₀)。

5.2 暴露评估

5.2.1 暴露情景分析

地块采用第二类用地方式下的典型暴露情景进行风险评估,根据成人期的暴露来评估污染物的致癌效应和非致癌效应。

5.2.2 暴露途径确定

根据初调和详调结果,地块地下水满足质量要求,故不考虑3种地下水污染物暴露途径。

地块土壤关注污染物为石油烃(C₁₀ - C₄₀),属于有机物污染,暴露途径有6种(表4)。

5.2.3 暴露模型参数及暴露量计算

地块参照《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3—2019)表B.1、B.2及G.1的参数推荐值及水文地质勘察实测值(表5)进行暴露量计算(表6)。

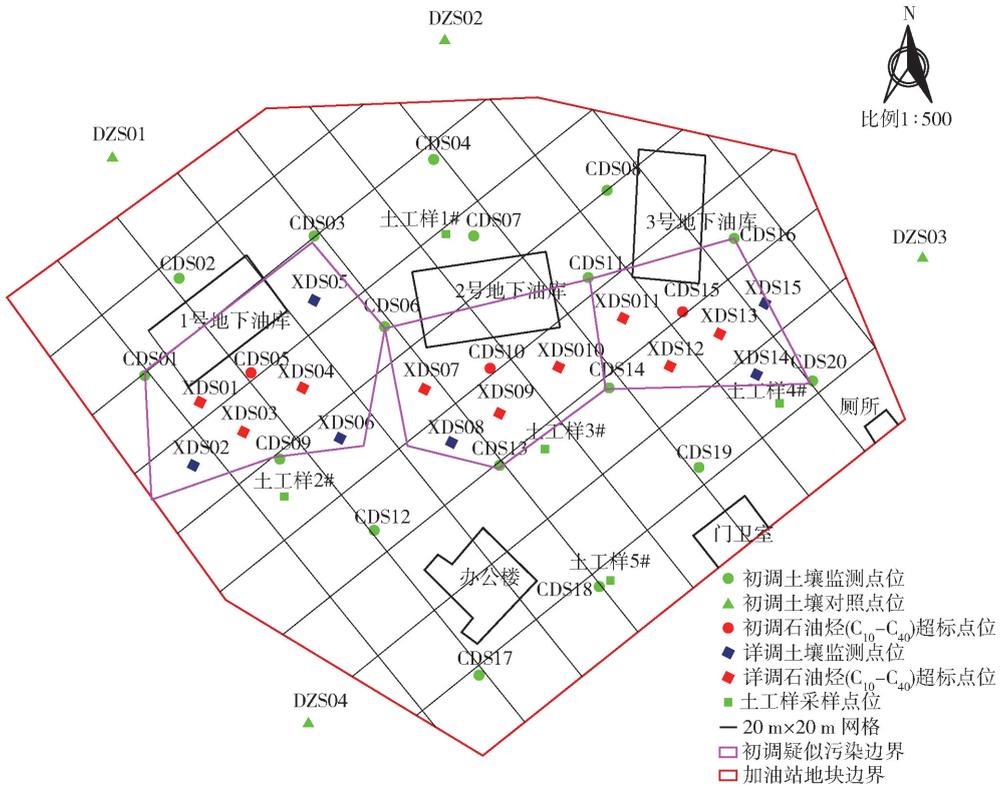


图3 初调和详调地块土壤石油烃(C₁₀-C₄₀)超标点位分布

表4 土壤石油烃(C₁₀-C₄₀)暴露途径

| 主要暴露途径 | 项目暴露途径 |
|------------|---------------------|
| 经口摄入土壤 | √ |
| 皮肤接触土壤 | √ |
| 土壤污染物 | 吸入土壤颗粒物 |
| 暴露途径 | 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物 |
| | 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物 |
| | 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物 |
| 地下水污染物暴露途径 | 吸入室外空气中来自地下水的气态污染物 |
| | 吸入室内空气中来自地下水的气态污染物 |
| | 饮用地下水 |

表5 地块土壤参数实测值

| 符号 | 含义 | 单位 | 参数取值 | 参数来源 |
|----------|--------|--------------------|--------|-------|
| f_o | 土壤有机质 | g/kg | 16.8 | |
| ρ_b | 土壤容重 | kg/dm ³ | 1.295 | 土壤实测值 |
| P_{ws} | 土壤含水率 | kg/kg | 0.0978 | (平均值) |
| ρ_s | 土壤颗粒密度 | kg/dm ³ | 2.65 | |

表6 土壤石油烃(C₁₀-C₄₀)各暴露途径的暴露量

| 序号 | 暴露途径 | 暴露量计算结果 | |
|----|---------------------|-------------------------|-----------------------|
| | | 致癌效应 | 非致癌效应 |
| 1 | 经口摄入土壤 | 3.65×10^{-7} * | 1.11×10^{-6} |
| 2 | 皮肤接触土壤 | 1.10×10^{-6} | 3.35×10^{-6} |
| 3 | 吸入土壤颗粒物 | 3.42×10^{-9} | 1.04×10^{-8} |
| 4 | 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物 | — | — |
| 5 | 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物 | — | — |
| 6 | 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物 | — | — |

注:暴露量计算公式参考《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3—2019)附录A; *表示该暴露途径暴露量由《污染场地风险评估电子表格》计算得到。

5.3 毒性评估

石油烃(C₁₀-C₄₀)毒性评估参数主要包括致癌效应毒性参数、非致癌效应毒性参数、理化性质参数及其他相关参数,具体参考《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3—2019)附录B,具体参数值参考《污染场地风险评估电子表格》。

5.4 风险表征

单一污染物的可接受致癌风险水平为 10^{-6} ,单一污染物的可接受危害商为1。

在保守考虑的基础上将石油烃(C₁₀-C₄₀)检出最大值作为暴露浓度进行土壤单一污染物致癌风险

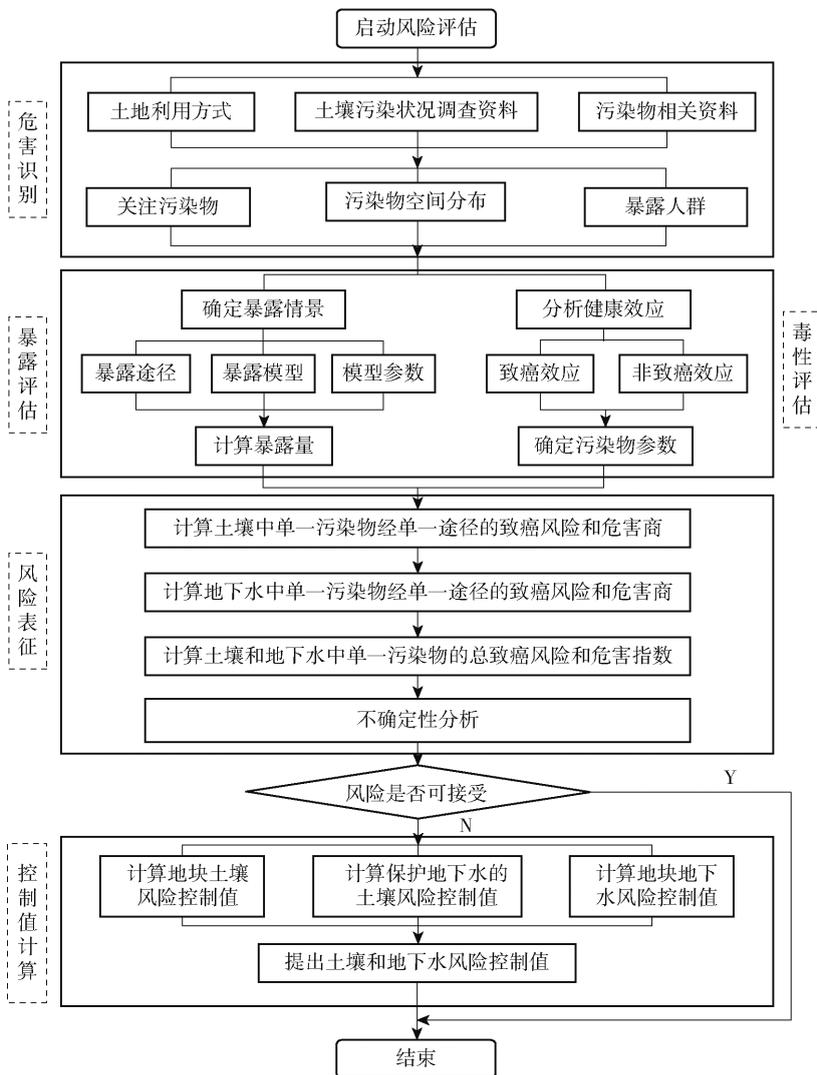


图 4 加油站地块风险评估技术路线

和危害商的计算,结果见表 7。

表 7 土壤单一污染物风险表征结果

| 序号 | 暴露途径 | 计算结果 | |
|----|---------------------|------|-------|
| | | 致癌风险 | 非致癌风险 |
| 1 | 经口摄入土壤 | — | 0.33 |
| 2 | 皮肤接触土壤 | — | 1.00 |
| 3 | 吸入土壤颗粒物 | — | — |
| 4 | 吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物 | — | — |
| 5 | 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物 | — | — |
| 6 | 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物 | — | — |
| 7 | 所有暴露途径的总致癌风险 | — | 1.33 |

注:计算公式参考《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3—2019)附录 C;风险表征结果由《污染场地风险评估电子表格》计算得到。

由表 7 可知,石油烃(C₁₀ - C₄₀)无致癌风险,石油烃(C₁₀ - C₄₀)的 6 种暴露途径总非致癌风险为 1.33,大于 1,说明其非致癌风险处于人体不可接受水平,需要开展土壤风险管控或修复。

5.5 不确定性分析

5.5.1 暴露途径贡献率分析

根据土壤中单一污染物 6 种暴露途径的致癌风险和非致癌风险贡献率计算结果(表 7),皮肤接触对非致癌风险的贡献率最大(75.14%),经口摄入次之(24.86%)。

5.5.2 模型参数敏感性分析

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3—2019)要求,由于污染物石油烃(C₁₀ - C₄₀)经口摄入和皮肤接触途径的非致癌风险贡献率均超过 20%,需对其人群和相关参数的敏感性进行分析。

模型参数的敏感性用敏感性比值(SR)来表示,计算见式(1)。敏感性比值越大,表示该参数对风险的影响越大。

$$SR = \frac{X_2 - X_1}{\frac{X_1}{\frac{P_2 - P_1}{P_1}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, P_1 为模型参数 P 变化前的数值; P_2 为模型参数 P 变化后的数值; X_1 为按 P_1 计算的致癌风险或危害商,无量纲; X_2 为按 P_2 计算的致癌风险或危害商,无量纲。

选择3个与人群相关的参数和5个与暴露途径

相关的参数(表7)进行敏感性分析。根据相关文献,各暴露途径受参数影响的敏感性变化趋势基本相同。在6种综合暴露途径下,调整相应的人群、土壤、建筑物等参数,计算各因子的风险水平,通过对比参数改变前后的风险水平,分析各参数在不同污染因子模型计算敏感性。上述参数分别按照 $\pm 10\%$ 范围变化进行输入,即 $P_2 = P_1 \times (1 \pm 10\%)$ 。为比较各参数的敏感性,将敏感程度分为不敏感、一般敏感、敏感和极敏感,敏感性大小与敏感性比值正相关,具体分析结果见表8。

表8 土壤石油烃($C_{10} - C_{40}$)非致癌风险计算中参数敏感性分析

| 敏感参数 | 与人群相关参数 | | | 与暴露途径相关的参数 | | | | |
|--------------------|---------|--------------------------|-------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------|
| | 成人暴露期/a | 成人暴露频率/ $d \cdot a^{-1}$ | 非致癌效应平均时间/d | 成人每日摄入土壤量/ $mg \cdot d^{-1}$ | 成人皮肤表面土壤粘附系数/ $mg \cdot cm^{-2}$ | 成人每日空气呼吸量/ $m^3 \cdot d^{-1}$ | 成人皮肤接触的时间/d | 室内空间体积与气态污染物入渗面积比/ cm |
| 原参数值 | 25 | 250 | 9 125 | 100 | 0.2 | 14.5 | 0.5 | 300 |
| 原非致癌风险 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 | 1.33 |
| 参数下调10% | 22.50 | 225 | 8 212.50 | 90 | 0.18 | 13.05 | 0.45 | 270 |
| 参数上调10% | 27.50 | 275 | 10 037.50 | 110 | 0.22 | 15.95 | 0.55 | 330 |
| 下调10%非致癌风险 | 1.20 | 1.20 | 1.48 | 1.30 | 1.23 | 1.33 | 1.33 | 1.33 |
| SR ₁ /% | 97.74 | 97.74 | -112.78 | 22.56 | 75.19 | 0 | 0 | 0 |
| 上调10%非致癌风险 | 1.46 | 1.46 | 1.21 | 1.36 | 1.43 | 1.33 | 1.33 | 1.33 |
| SR ₂ /% | 97.74 | 97.74 | -90.23 | 22.56 | 75.19 | 0 | 0 | 0 |
| 敏感性 | 极敏感 | 极敏感 | 极敏感 | 一般敏感 | 敏感 | 不敏感 | 不敏感 | 不敏感 |

由表8可知,该地块石油烃($C_{10} - C_{40}$)在6种综合暴露途径下非致癌风险影响较大的参数是成人暴露期、成人暴露频率和非致癌效应平均时间。

通过敏感性分析,了解了相关参数的不确定性对风险评估结果的影响,后续对地块进行治理的过程中要严格控制,采取措施,禁止无关人员入内,且要做好防尘工作,使大气颗粒物浓度保持在一个较低水平。

5.6 风险控制值计算

对单一污染物,基于6种暴露途径致癌效应和非致癌效应的土壤风险控制值计算结果见表9。

根据《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3—2019)要求,土壤风险控制值取基于致癌效应和基于非致癌效应的土壤风险控制值中的较小者,因此,地块土壤石油烃($C_{10} - C_{40}$)的风险控制值为4 490 mg/kg。

表9 基于致癌和非致癌效应的土壤风险控制值计算结果

| 序号 | 暴露途径 | 计算结果 | |
|----|-----------------------|------|--------|
| | | 致癌效应 | 非致癌效应 |
| 1 | 经口摄入土壤 | — | 18 000 |
| 2 | 皮肤接触土壤 | — | 5 970 |
| 3 | 吸入土壤颗粒物 | — | — |
| 4 | 基于吸入室外空气中来自表层土壤的气态污染物 | — | — |
| 5 | 吸入室外空气中来自下层土壤的气态污染物 | — | — |
| 6 | 吸入室内空气中来自下层土壤的气态污染物 | — | — |
| 7 | 6种土壤暴露途径综合致癌效应 | — | 4 490 |

注:计算公式参考《建设用地土壤污染风险评估技术导则》(HJ 25.3—2019)附录E;土壤风险控制值由《污染场地风险评估电子表格》计算得到。

5.7 修复目标值确定

在综合考虑计算的土壤风险控制值、第二类用地筛选值、目标污染物的背景值、污染物性质、土壤结构及理化性质和地下水文情况的基础上,将地块土壤石油烃($C_{10} - C_{40}$)的修复目标值确定为第二类用地筛选值 4 500 mg/kg。

5.8 土壤污染范围及方量确定

利用 Surfer 软件使用克里金插值法分层将地块土壤关注污染物石油烃($C_{10} - C_{40}$)超过修复目标值的区域绘制出污染范围。若通过 Surfer 软件插值模拟出的污染边界超过调查边界,则推荐污染范围边界以调查边界为准。

根据地块各层污染情况,共分 7 层,分别为 2 ~ 3 m、3 ~ 4 m、4 ~ 5 m、5 ~ 6 m、6 ~ 7 m、7 ~ 8 m、8 ~ 9 m,各层土壤石油烃($C_{10} - C_{40}$)污染范围如图 5 所示。

对地块各层土壤污染区域面积、污染深度及污染土方量进行统计,结果见表 10。由表 10 可知,地块石油烃($C_{10} - C_{40}$)污染土方量总计为 8 480. 29 m³。

表 10 石油烃($C_{10} - C_{40}$)污染土方量

| 序号 | 土壤分层/ m | 污染区域 面积/m ² | 污染土壤 深度/m | 污染土方 量/m ³ |
|----|------------|---------------------------|--------------|--------------------------|
| 1 | 2~3 | 1 346. 89 | 1 | 1 346. 89 |
| 2 | 3~4 | 1 024. 83 | 1 | 1 024. 83 |
| 3 | 4~5 | 2 355. 15 | 1 | 2 355. 15 |
| 4 | 5~6 | 1 147. 90 | 1 | 1 147. 90 |
| 5 | 6~7 | 2 121. 97 | 1 | 2 121. 97 |
| 6 | 7~8 | 482. 79 | 1 | 482. 79 |
| 7 | 8~9 | 0. 76 | 1 | 0. 76 |

6 结果与讨论

根据初调和详调结果,地块地下水满足质量要求;地块土壤石油烃($C_{10} - C_{40}$)超标,超标点位主要分布于 3 个地下油库下游,超标原因可能是历史上加油站建设技术落后、管理不善、地下油库防渗不佳等因素导致的柴油、汽油等油类的长期渗漏、泄漏或“跑冒滴漏”。

经风险评估,土壤石油烃($C_{10} - C_{40}$)的非致癌风险处于人体不可接受水平,需要开展修复工程,达

到修复目标后才能进行下一步的开发和利用,修复最大深度为 9 m,修复土方量为 8 480. 29 m³。

加油站地块土壤污染状况调查的重点为地下储罐、油库、管线(水、电、气、油等)及其他可能造成泄漏、渗漏和跑冒滴漏的区域,调查时首先需要通过资料收集确定地下储罐、管线等建筑物的位置,确保采样点位能够有效监测污染物。但由于加油站建设年限较长、管理不善,地下储罐、管线等建筑物设计图纸可能缺失或地下储罐、管线等的位置与所收集的图纸存在差异,建议在资料收集、人员访谈和现场踏勘工作基础上,采用地球物理探测方法(如探地雷达、管线探测仪等)对地下储罐、管线等位置进行非破坏性探测,辅助确定其具体位置。

现场采样时,注意采样设备与地下储罐、油库、管线的安全距离,防止对地块造成二次污染。

虽然本次调查过程中地下水满足质量要求,但为了安全考虑,建议将调查过程中新建的地下水监测井用于加油站地块长期监测,开展地下水常态化监测。

建议尽快开展地块受污染土壤的风险管控工作,防止土壤中污染物逐渐迁移造成污染区域变化。开展修复前要对地块进行有效的管理与保护,禁止从事任何与地块修复工程无关的活动。调查工作结束后至修复完成前,建议当地政府生态环境监管部门定期对地块开展巡视工作,禁止无关人员进入地块,防止地块内残余污染物造成人身伤害。

[参考文献]

[1] 焦黎. 加油站土壤与地下水环境管理问题思考与对策[J]. 资源节约与环保,2020(2):19.

[2] 罗成成. 加油站遗留地块土壤污染状况调查与风险评估[J]. 中国资源综合利用,2023,41(5):155-161.

[3] 严怡君. 加油站土壤与地下水污染状况调查的思考与建议[J]. 江汉石油职工大学学报,2023,36(4):44-46.

[4] 李家俊. 上海某加油站相邻工业地块土壤污染状况调查结果研究[J]. 广东化工,2023,50(491):193-195.

[5] 吴骞,王继富. 浅谈对《中华人民共和国土壤污染防治法》的认识[J]. 黑龙江工业学院学报(综合版),2019(4):155-158.

[6] 朱军山,刘林杰,高腾. 某地加油站土壤地下水现状调查与分析[J]. 安全、健康和环境,2021,21(7):34-39.

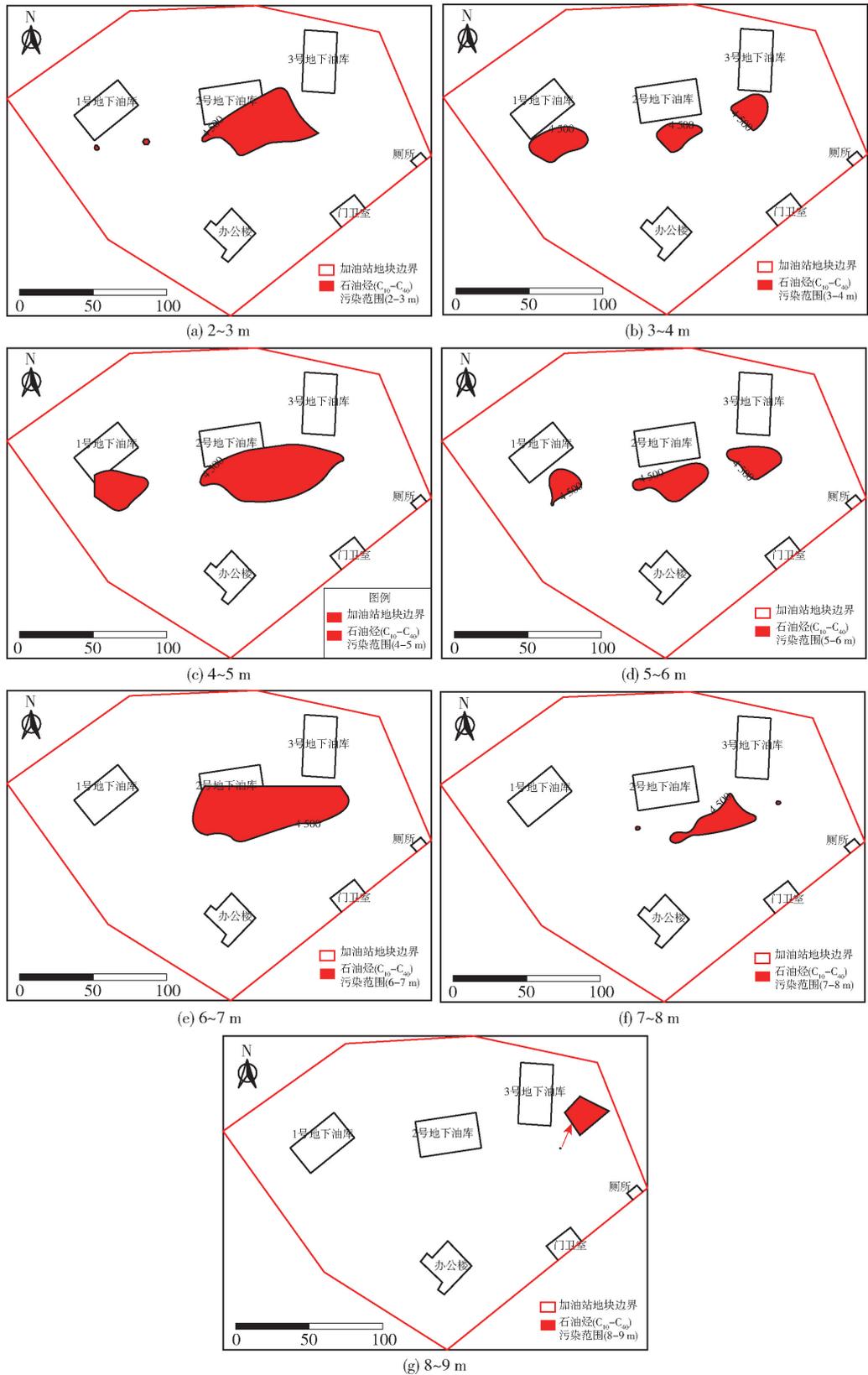


图5 各层土壤石油烃($C_{10} - C_{40}$)污染范围

Investigation and Analysis of Soil and Groundwater Status of an Abandoned Gas Station in Qinghai

YANG Guohang¹, LV Xiaojian¹, CHEN Fei², XU Dongdong¹, HAO Jianqing¹

(1. China ENFI Engineering Corporation, Beijing 100038, China;

2. Beijing Zhongdihongke Environmental Technology Co., Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: The legacy site of a gas station in Qinghai Province has been idle for many years after its closure, it is now planned to be developed into public facility land. According to relevant laws, regulations and policy requirements, soil and groundwater pollution investigations should be conducted on the land before its development and utilization. According to the pollution identification, preliminary investigation, detailed investigation and risk assessment results, there is petroleum hydrocarbon ($C_{10} - C_{40}$) pollution in the soil. The cause of the pollution is closely related to the long-term leakage or “running, dripping, and leaking” of oil materials in the underground oil depot. The pollution depth is 2 ~ 9 m, and the soil volume is 8 480. 29 m³. This survey and evaluation work can provide a basis for the subsequent risk control or remediation of the gas station plot, and provide effective reference for soil pollution investigation and risk assessment of similar gas station plots.

Key words: gas station; investigation of soil pollution; groundwater; risk assessment; petroleum hydrocarbons; soil remediation

(上接第 78 页)

enterprise was taken as the research object. The finite element analysis software STAR-CCM + was used to establish the analysis model of axial cyclone dust collector, and the numerical simulation analysis was carried out based on the discrete phase model theory. According to the internal velocity and pressure distribution of the axial cyclone dust collector, the velocity of the gas is increased after passing through the swirl plate, and the spiral downward movement is generated. During the descent process, there will be two eddy currents at the inlet of the exhaust pipe and the lower cone, which will affect the gas flow. The pressure distribution is mainly divided into three areas: First, the mixing chamber between the swirl plate and the intake pipe. Due to the resistance of the swirl plate, the pressure increases slightly after the gas enters the mixing chamber; second, inside the dust collector, the gas pressure is reduced by the action of the swirl plate; the third is the low pressure area in the exhaust pipe. The dust removal efficiency is 83.2%, which is close to the actual dust removal efficiency. Through the analysis of the gas-solid flow characteristics of the axial cyclone dust collector, it provides a theoretical basis for further optimizing the structure size and improving the dust removal efficiency.

Key words: blast furnace; axial cyclone dust collector; flow field; flow trajectory