

典型城镇污水处理厂地块土壤污染状况调查

吕晓建¹, 陈飞², 徐冬冬¹, 杨国航¹, 姜久宁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] 本文以某城镇污水处理厂为研究对象,通过资料收集、人员访谈、现场踏勘等手段,分析与判断产污环节和污染途径,得出地块需要开展第二阶段土壤污染状况调查的结论。第二阶段调查共布设土壤监测点11个、地下水监测点4个以及各池体存水监测点7个。将上述样品检测结果与所选筛选值对比可知,土壤中各指标均未超过筛选值。地下水的超标因子是总硬度、锰、溶解性总固体和硫化物,但并非地块特征污染物指标。池体内存水存在部分指标超标情况,但土壤和地下水监测数据表明存水未出现泄露的情况。依据相关规范,该地块不需要再作进一步调查,土壤污染状况调查工作结束。

[关键词] 污水处理; 污染识别; 地下水污染; 土壤污染

[中图分类号] X784 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-2423(2025)02-0106-06

DOI: 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2025.02.016

0 引言

当前,土壤污染问题越来越受到重视。土壤污染导致农作物减产和品质下降,并通过食物链积累重金属等有害物质,引发人体慢性中毒、癌症等健康风险,还会污染地下水及地表水,破坏水资源并威胁饮用水安全。目前,在土壤污染防治方面,国家已经制定了相对完善的监管制度,例如,针对在产的重点监管企业,要求定期开展土壤污染隐患排查和土壤及地下水自行监测工作^[1-2];针对关停或退役的地块,国家层面也实行了污染地块名录制度,土壤污染状况调查和风险评估等成果报告的评审也有明确的规定。关停或退役的地块目前仍然存量较大,在重新开发利用这类土地之前,《土壤污染防治法》明确规定要开展土壤污染状况调查工作^[3]。

目前,针对历史上作为城镇污水处理厂的地块研究,大多数集中在污泥处理和现状,而有关城镇污水处理厂地块关停后土壤污染状况调查及污染特点的研究甚少。本文选择某关停某城镇污水处理厂为分析对象,对地块内的土壤和地下水污染状况进行调查,分析地块的土壤污染状况,为地块后续开发利用提供环境管理依据,为类似地块土壤污染状况调查提供借鉴。

1 地块概况

地块原为城镇污水处理厂,属于工业园区配套污水处理设施,运营承包方为当地的一家给排水管理公司。污水处理厂主要处理工业园区内部分工业污水和生活污水。地块调查范围是污水处理厂的厂界,四周有围墙,占地面积约为5 000 m²。

污水处理厂于2004年建设完成并投入运行,处理能力为4 000 m³/d,出水执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)中城镇二级处理厂一级排放标准。污水处理厂采用A2O生化法处理污水,主体工艺为生物膜法^[4],主要设施包括格栅池、调节池、初沉池、厌氧池、兼氧池、好氧池和生化池等。污水处理厂于2013年完成了提标改造,改造工程为延长了A2O处理工艺时间,增加A2O工艺填料以提高COD处理负荷的方式,同时通过增加超滤工艺降低出水SS。2018年,在厂区东北角空地建设了过渡性污水处理设施,在空地上铺设了厚度30 cm的混凝土硬化层,过渡性污水处理设施处理能力为

[收稿日期] 2024-09-13

[作者简介] 吕晓建(1990—),男,河北唐山人,硕士,工程师,主要从事土壤污染状况调查、土壤修复、矿山生态修复治理等技术工作。

[引用格式] 吕晓建,陈飞,徐冬冬,等.典型城镇污水处理厂地块土壤污染状况调查[J].绿色矿冶,2025,41(2):106-111.

LV Xiaojian, CHEN Fei, XU Dongdong, et al. Investigation on soil contamination in typical municipal wastewater treatment plant sites [J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2025, 41(2):106-111.

2 000 m³/d。过渡性污水处理设施采用污水处理一体化设备,处理的污水来源仍为工业园区内工业污水和生活污水。污水处理厂(包括过渡性污水处理设施)于2020年停止运营,地块内大部分生产设施尚未拆除。

根据未来用地规划,地块属于公用设施用地,土壤评价标准为《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600—2018)中“第二类用地”。

2 第一阶段土壤污染状况调查

1)资料收集。本次土壤污染状况调查收集到的资料有:污水处理厂地块利用变迁资料、运营情况、排污情况、有关政府文件以及相邻地块的资料等。

2)现场踏勘。现场踏勘确定地块内存在格栅间、泵房、风机房、电控室、厂房、办公室、风机房、传达室、配电室等建筑物,地块内可见部分氧化池、检

查孔。

3)人员访谈。本次土壤污染状况调查访谈人员主要有:原污水处理厂工作人员、当地环保管理人员、开发区主管人员和周边居民。

考虑到地块运营时间较长,历史运行时期可能存在缺乏有效环境管理的情况,根据平面布置及生产情况分析,该地块可能受污染的区域见表1。

经识别,清水池、风机房、超滤间和压泥房不存在污染泄漏风险。经过调查走访,地块周边其他区域未进行工业生产,地块潜在污染影响较小。

通过资料收集、现场踏勘和人员访谈,可知地块上未发生过污染事故,未进行过生产废渣填埋;污泥等委托有资质单位进行处置。但废水处理过程的跑冒滴漏等情况可能造成地块土壤污染^[5],潜在污染物包括砷、总铬、氟化物、氨氮和石油烃(C₁₀ - C₄₀)、锌、镉、锡、氰化物等,因此地块需要开展第二阶段土壤污染状况调查。

表1 地块各工艺分布图

序号	设施	分析描述	设施识别结论
1	集水井	尺寸为6 m × 10 m,深度为3.42 m。底部从下至上依次为素土夯实、100 mm的C10砼垫层、300 mm的C30钢筋砼底板、15 mm的1:2水泥防水砂浆。地上部分为风机房和泵房。集水井中是污水进入到污水厂的第一个构筑物	潜在污染途径为污水通过集水井渗漏到土壤
2	格栅间	污水厂的重要的辅助设备之一,主要用来截留污水中较粗大漂浮物和悬浮物,防止堵塞和缠绕水泵机组、曝气器、管道阀门等,减少后续处理产生的浮渣。格栅间深度为7.4 m,格栅间防渗结构形式与集水井一样	现场经排查,格栅间底部和池壁未见裂缝
3	旋流除砂器	集水池至沉砂池的管线上增加的装置,对管网内的泥沙进行沉淀,减轻后续处理系统的负荷。旋流设计,重力除砂,重力排砂,无需单独的动力设备,除砂效果好,能耗低。外形尺寸为1 200 mm × 2 000 mm。旋流除砂器排出的沙砾直接运到晒砂场进行干化处理,然后统一外运	晒砂场采用硬化处理,且硬化层未见裂缝,不存在潜在污染途径
4	沉砂池	尺寸为15 m × 2 m,深度为3 m。主要用于去除污水中粒径大于0.2 mm,密度大于2.65 t/m ³ 的砂粒,以保护管道、阀门等设施免受磨损和阻塞。沉砂池为平流沉砂池。沉砂池防渗结构形式与集水井一样	潜在污染途径为污水通过池体渗漏到土壤
5	晒砂场	尺寸为15 m × 4 m,深度为1 m。砂子是从沉砂池中挖出。晒砂干化的方法投资小运行费用低。晒砂场实际为池体结构,深度为1 m。晒砂场防渗结构形式与集水井一。	潜在污染途径为污水通过池体泄漏到土壤
6	调节池	尺寸每个为6 m × 7 m,深度为5 m。主要为了使管道和结构正常工作,不受废水高峰流量或浓度变化的影响,因此在污水处理设施前设置了调节池。调节池防渗结构形式与集水井一样	调节池池壁未见裂缝。潜在污染途径为污水通过池体渗漏到土壤
7	生化池	两套尺寸为18 m × 12.7 m和12 m × 18 m,深度分别为5 m和5.15 m。生化池分为A级厌氧池和O级好氧池两部分。A级生化池通过生物除磷。O级生化池满足好氧微生物去除碳源需氧量即BOD ₅ 和硝化细菌将NH ₃ -N转化NO _x 所需的高氧环境和污染物质与生物相充分反应的接触环境。生化池防渗结构形式与集水井一样	生化池池壁未见裂缝。潜在污染途径为污水通过池体泄漏到土壤
8	沉淀池	沉淀池的尺寸为10 m × 9 m,深度为5 m。为提高沉淀池沉淀效率,还增设了加药装置,混凝剂采用PAC,絮凝剂采用PAM。池中的泥渣与混凝剂以及原水中的杂质颗粒互相接触、吸附、沉淀,以及达到泥水分离。沉淀池内有斜管沉淀装置。沉淀池防渗结构形式与集水井一样	潜在污染途径为污水通过池体泄漏到土壤
9	污泥池	尺寸为9 m × 5.5 m,深度为5 m。从沉淀池排出的污泥其含水率很高,通常在95%以上。采样压滤机压滤的方法进行污泥干化。污泥池防渗结构形式与集水井一样	潜在污染途径为污水通过池体泄漏到土壤

3 第二阶段土壤污染状况调查

3.1 土壤监测布点方案

采用专业判断法^[6]在重点关注区域进行土壤采样点的布设。污水的运行轨迹为进水→泵房→格栅间→集水井→调节池→A生化池→O生化池→沉淀池→污泥池→清水池→外排。每个处理单元均存在污水泄漏的可能,因此在每个处理单元内部或尽量接近且在污染物迁移的下游方向布置土壤采样点。

土壤污染状况调查按照初步调查的面积大于5 000 m²时,土壤采样点位数不应少于6个的原则进行布设。本次调查共布设了11个土壤监测

点位。土壤采样深度为初见地下水的位置。表层土壤采样深度为0~1.5 m,表层与含水层之间2个采样点的间距不大于2 m。

3.2 地下水监测布点方案

为调查地块水文地质情况及地下水污染水平,共布设4口地下水监测井,地块上游(西北)布设1口监测井,下游三个方向(西南、南、东南)布设3口监测井。地下水监测井考虑重点池体位置,以判断池体是否存在泄漏情况;监测井深度及筛管位置根据现场水文地质情况确定。4口监测井深度约为17 m,筛管深度在12~15 m。

地块各工艺分布及检测布点如图1所示。



图1 地块各工艺分布及布点图

3.3 检测方案

1) 土壤检测方案及评价标准:地块土地利用规划为消防用地(U31),因此土壤检测指标为《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)中表1基本项45项外加筛选出的特征污染物石油烃(C₁₀-C₄₀)、氨氮、氰化物、氟化物、总铬、锌、镉、钴、锡。

2) 地下水检测方案及评价标准:地块所在区域

不属于地下水的天然劣质水区,因此地下水检测指标为国《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017) III类的常规指标以及与土壤检测指标一致的因子。

3) 池体内水检测方案及评价标准:本次调查在各个池体内采集水样,池体内存在少量存水。池体内水检测指标为《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)第一类污染物、集中式生活饮用水地表水源地特定项目以及特征污染物铬和锡。

3.4 检测结果

3.4.1 土壤检测结果

地块内表层土壤重金属检测结果与筛选值对比见表2。由表2可知,土壤中重金属六价铬、锡、氰化物、VOCs和SVOCs污染物未检出,其他指标均未

超过所筛选值。其他深度土壤样品各指标检测值与表2类似。调查结果表明,地块土壤未受到污染。

3.4.2 地下水检测结果

该地块表层土壤重金属检测结果见表3。由表3可知,地下水样品的总硬度、锰均超标;下游西南污

表2 地块重金属检测值与筛选值

指标	pH	汞	镉	铅	六价铬	铬	铜	镍	锌	铋	砷	钴	锡
筛选值	—	14	65	800	5.7	200	10 000	300	10 000	180	20	70	10 000
S1-0.5 m	8.25	0.09	0.06	22.6	0	71	16	17	63	0.4	6.4	7.07	0
S2-0.5 m	8.85	0.08	0.09	29.7	0	54	20	22	78	0.5	10.6	9.86	0
S3-0.5 m	8.58	0.11	0.04	22.7	0	42	9	17	65	0.3	8.2	8.78	0
S4-0.5 m	9.01	0.06	0.19	27.7	0	66	22	21	76	0.6	10.8	14.2	0
S5-0.5 m 平行	8.69	0.13	0.16	25.9	0	54	10	15	61	0	6.1	5.12	0
S5-0.5 m	8.64	0.13	0.14	25.2	0	57	11	16	64	0	6.2	5.19	0
S6-0.5 m	8.66	0.09	0.1	33.9	0	57	20	24	135	0.9	15.3	23.7	0
S7-0.5 m	8.62	0.07	0.1	22.3	0	76	16	20	53	0.4	6.4	6.65	0
S8-0.5 m	8.54	0.1	0.09	21.3	0	65	18	19	64	0.4	6.9	7.19	0
S9-0.5 m	9.14	0.06	0.06	25.7	0	75	21	24	67	0.4	7.9	7.9	0
S10-0.5 m	8.1	0.2	0.17	52.6	0	58	30	49	333	1.6	28.7	36.9	0
S11-0.5 m 对照	8.44	0.1	0.42	28.7	0	66	32	29	100	0.8	10.9	9.49	0

泥池边(W2)和南部沉砂池边(W4)的溶解性总固体超标;上游西北进水管边地下水(W1)和下游西南污泥池边(W2)的硫化物超标。4口监测井的总硬度超标倍数分别为1.1倍、1.3倍、1.1倍、1.08倍、1.5倍,锰超标倍数分别为19倍、25倍、17倍、16.7倍、17.3倍。硫化物超标倍数分别为2倍、3.5倍。溶解性总固体超标倍数分别为1.03倍、1.24倍。

表3 地块地下水检测值与标准值

指标	总硬度/ mg·L ⁻¹	溶解性总固 体/mg·L ⁻¹	硫化物含量/ mg·L ⁻¹	锰含量/ μg·L ⁻¹
标准值	450	1 000	0.02	100
W1	503	858	0.04	1 900
W2	565	1 030	0.07	2 500
W3	483	938	0	1 710
W3Dup 平行	488	916	0	1 670
W4	699	1 240	0.02	1 730

地下水的超标因子是总硬度、锰含量、溶解性总固体和硫化物含量,但这并非地块特征污染物指标。经查阅相关文献^[7],该地块所在区域地下水存在的主要问题是锰含量普遍偏高,部分地区总硬度较高,水质状况存在地区差异,主要与其地质水层有关。

另有关研究表明,该区域浅层地下水因历史遗留的农业污染和工业活动影响,水质较差,局部地区总溶解固体和硬度超标。城市生活污水及工业废水中的钠盐(如氯化钠、硫酸钠)通过阳离子交换作用,促使地下水中的氯化物硬度和硫酸盐硬度增加;酸性工业废水直接溶解地层中的碳酸盐矿物,进一步导致地下水永久硬度升高。总而言之,地质或工业污染可能导致地下水中总硬度和溶解性总固体TDS升高。

3.4.3 池体内污水检测结果

本次调查共在7个池体内采集污水样品。地块污水检测结果与标准值对比见表4。

由表4可知,WS6(A生化池)和WS7(调节池)样品的硫化物超过污水排放标准。WS2(沉淀池)、WS4(清水池)、WS5(O生化池)、WS6(A生化池)、WS7(调节池)样品的总氮超过污水排放标准;WS6(A生化池)样品的阴离子表面活性剂超过污水排放标准;WS3(污泥池)样品的镍超过污水排放标准。WS6(A生化池)、WS7(调节池)样品的硫化物超地下水质量标准Ⅲ类。WS5(O生化池)的样品挥发酚超过地下水质量标准Ⅲ类;7个样品的氨氮均超过地下水质量标准Ⅲ类;WS6(A生化池)样品的

阴离子表面活性剂超过地下水质量标准Ⅲ类。7个样品的化学需氧量超过地下水质量标准Ⅲ类;WS2(沉淀池)、WS4(清水池)、WS5(O生化池)、WS6(A

生化池)、WS7(调节池)样品的砷含量超过地下水质量标准Ⅲ类。WS3(污泥池)的钴含量和镍含量超地下水质量标准Ⅲ类。

表4 地块污水检测值与标准值

项目	污水综合排放标准	地下水质量标准Ⅲ类	WS1	WS2	WS3	WS4	WS5	WS6	WS7
硫化物/mg·L ⁻¹	≤1	≤0.02	0.17	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	6.46	2.37
挥发酚(以苯酚计)/mg·L ⁻¹	≤2	≤0.002	<0.0003	<0.0003	0.0013	0.0015	0.0277	0.0014	0.0082
氨氮(以氮计)/mg·L ⁻¹	无限制	≤0.50	8.26	68.4	2.14	90.9	12.6	95.3	93.4
总氮(以氮计)/mg·L ⁻¹	≤15	—	10.2	91.4	14.1	109	20.4	95.7	96.5
阴离子表面活性剂/mg·L ⁻¹	≤0.3	≤0.3	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	0.47	<0.04
化学需氧量/mg·L ⁻¹	≤500	≤3	61	17	58	52	58	52	58
砷含量/μg·L ⁻¹	≤100	≤10	5.77	12.9	<0.12	10.5	52	12.4	84.3
钴含量/μg·L ⁻¹	≤1000	≤50	0.16	0.06	94.3	5.75	2.81	1.46	15.3
镍含量/μg·L ⁻¹	≤20	≤20	1.25	0.08	46.1	6.35	6.22	1.88	21.4

池体内存水存在部分指标超标情况,但土壤和地下水监测数据表明存水未出现泄露的情况,因而建议对池内存水妥善处理后再进行后续开发工作。地块内建构筑物设施拆除后,可在底部补充采集部分样品,确保建构筑物底部不存在污染。

壤和地下水的分层采样要求不足,难以精准定位污染源扩散路径,建议优化分层采样与检测技术。

[参考文献]

4 结论与建议

1)该污水处理厂建设时间较短,运行时间不长,依据《建设用土壤污染状况调查技术导则》(HJ25.1—2019)和《建设用土壤污染状况调查与风险评估技术导则》(DB11/T 656—2019)等规定的工作程序,本地块不需要进一步调查,土壤污染状况调查工作结束,地块可用于下一步开发建设。

[1] 肖剑飞,王旭,谢金亮.某铜冶炼企业土壤污染隐患排查[J].有色冶金节能,2022,38(06).

[2] 武肖媛.某焦化企业土壤污染隐患排查案例分析[J].山西化工,2022,42(03):313-315.

[3] 李情,周虹.典型化工遗留地块土壤污染调查评估[J].广东化工,2022,49(13):129-131.

[4] 张妍.生物膜强化城市污水A2O工艺生物脱氮的实现与优化[D].北京工业大学,2022.

[5] 李丹丹.城镇污水处理厂进水水质特征分析[J].资源节约与环保,2023(4):133-136.

[6] 陈鹏.建设用土壤污染调查布点方法与流程分析[J].新疆有色金属,2024,47(1):6-7.

[7] 刘波.北京市通州区地下水卫生学调查[J].环境与健康杂志,2004(1):52-53.

2)进行城镇污水厂地块土壤污染调查时,因硫化物对土壤和地下水的复合污染风险较高,建议关注硫化物等还原性污染物。

3)城镇污水处理厂地块通常存在深层地下构筑物(如污水池、管道),但现有技术规范对深层土

Investigation on Soil Contamination in Typical Municipal Wastewater Treatment Plant Sites

LV Xiaojian¹, CHEN Fei², XU Dongdong¹, YANG Guohang¹, JIANG Jiuning¹

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

2. Beijing Zhong Di Hong Ke Environmental Technology Co., Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: Taking a certain urban pollution treatment plant as the research object, through means such as

data collection, personnel interviews, and on-site inspections, the pollution production links and pollution pathways were analyzed and judged, concluding that the site required a second phase of soil pollution condition survey. The second phase of the survey set up 11 soil monitoring points, 4 groundwater monitoring points, and 7 sewage monitoring points. The test results showed that all indicators in the soil did not exceed the standards; the exceeding factors in the groundwater are total hardness, manganese, dissolved total solids, and sulfide, which were not characteristic indicators of the site's pollutants; there were some indicators exceeding the standards in the water and sludge in the pools, but the soil and groundwater monitoring data showed that there is no leakage of water and sludge. According to relevant specifications, this site did not need further investigation, the soil pollution condition survey work was concluded.

Key words: sewage treatment; pollution identification; groundwater pollution; soil contamination

(上接第 105 页)

Study on the Factors Affecting the Properties of Solid Recovered Fuels from Municipal Solid Waste

CHEN Songxuan¹, GAO Yan¹, WANG Xu¹, WANG Xing², LIU Kai¹, ZUO Zixian¹, ZHAI Xiaopeng²

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

2. Gu'an ENFI Environmental Energy Co., Ltd., Gu'an 065501, China)

Abstract: The generation of municipal solid waste (MSW) is increasing annually worldwide. Reasonable disposal of MSW can not only avoid environmental pollution risks, but also contribute to resources recycling. In this paper, MSW was compressed to solid recovered fuels (SRF), and the influence of moisture content and composition of MSW and molding pressure on the expansion rate and impact resistance of SRF were analyzed. The results show that increasing the proportion of paper or reducing the proportion of plastics can reduce expansion rate and increase impact resistance of SRF; and reducing the proportion of fruit peels, or increasing the proportion of nutshells and textiles appropriately can enhance impact resistance of SRF, while ensuring good expansion rate. The calorific value of SRF prepared in this experiment meets the requirements of relevant standards of ISO TC300 and can be traded as a fuel product.

Key words: municipal solid waste, solid recovered fuels, influencing factors, expansion rate, impact resistance