

蚌埠市某染料化工企业场地环境调查与风险评估

王令祥

南大环境规划设计研究院(江苏)有限公司, 江苏 南京

收稿日期: 2023年6月25日; 录用日期: 2023年7月26日; 发布日期: 2023年8月3日

摘要

为研究蚌埠市某化工企业遗留场地土壤和地下水受污染程度, 根据《污染场地风险评估技术导则》(HJ25.3-2014)对其进行场地调查, 利用人体健康风险评估法对场地污染状况进行分析。结果表明: 该场地规划为商业居住用地。土壤中超出风险可接受水平的污染物为镍、铜和苯并(a)芘, 推荐修复目标值分别为244 mg/kg、4004 mg/kg和0.84 mg/kg。本场地地下水点位存在超出可接受的风险水平, 需实施地下水风险控制与修复治理措施。地下水中超出风险可接受水平的污染物为氨氮和铜, 修复目标值分别为792 mg/L和1.5 mg/L。场地土壤中镍、铜和苯并(a)芘的修复面积为277 m², 修复土方量约为415.5 m³; 铜修复面积为425 m², 修复土方量约为1275 m³; 苯并(a)芘修复面积为101 m², 修复土方量约为101 m³。场地地下水中氨氮的修复面积为257 m², 修复水量约为926 m³; 铜的修复面积为13,445 m², 修复水量约为48,422 m³。

关键词

化工企业, 场地调查, 风险评估, 土壤和地下水

Environmental Site Investigation and Risk Assessment of a Dye Chemical Enterprise Site in Bengbu City

Lingxiang Wang

Academy of Environmental Planning and Design, Co., Ltd., Nanjing University (Jiangsu Branch), Nanjing Jiangsu

Received: Jun. 25th, 2023; accepted: Jul. 26th, 2023; published: Aug. 3rd, 2023

Abstract

In order to study the degree of soil and groundwater pollution in a chemical enterprise's legacy site in Bengbu City, a site survey was conducted according to the "Technical Guidelines for Risk Assessment of Polluted Sites" (HJ25.3-2014), and the human health risk assessment method was used to analyze the site pollution status. The results indicate that the site is planned for commercial and residential use. The pollutants in the soil that exceed the acceptable risk level are nickel, copper, and benzo (a) pyrene, with recommended remediation target values of 244 mg/kg, 4004 mg/kg, and 0.84 mg/kg, respectively. There is an acceptable risk level of groundwater at this site, and measures for groundwater risk control and remediation need to be implemented. The pollutants in groundwater that exceed the acceptable risk level are ammonia nitrogen and copper, with remediation target values of 792 mg/L and 1.5 mg/L, respectively. The remediation area of nickel, copper, and benzo (a) pyrene in the site soil is 277 m², and the amount of remediation soil is approximately 415.5 m³. The copper repair area is 425 m², and the repair earthwork volume is approximately 1275 m³. The remediation area of benzo (a) pyrene is 101 m², and the remediation earthwork volume is approximately 101 m³. The remediation area of ammonia nitrogen in the underground water of the site is 257 m², and the remediation water volume is approximately 926 m³. The repair area of copper is 13,445 m², and the repair water volume is approximately 48,422 m³.

Keywords

Chemical Enterprises, Site Investigation, Risk Analysis, Soil and Groundwater

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着工业化和城市化进程的加快,大量工业企业从中心城区向外迁移,城市中大量企业搬迁后遗留、遗弃的污染场地,残存的污染物会通过原厂区迁移到土壤和地下水,给周边环境和居民健康造成直接威胁[1] [2] [3]。目前,我国关于退役遗留场地的风险评价涉及众多,但针对染料化工企业这种涉及有机物、重金属复合污染的工业遗留场地涉及较少[4]-[11]。因此,对此类遗留场地进行污染调查和风险评估十分必要。

以蚌埠市某染料化工企业场地为研究对象,在场地初步调查的基础上,依据相关导则、方法和标准,对场地进行详细调查采样与风险评估,提出保护人体健康的土壤和地下水的风险控制值,确定最终的修复方量,并提出修复建议,为有关部门提供场地环境管理决策的依据,确保该土地后续开发利用的安全,避免场地内遗留污染物造成环境污染和经济损失,保障人民身体健康。

2. 区域概况与研究方法

2.1. 场地概况

该染料化工公司始建于1975年,前身为化肥厂,主要产品为合成氨、碳酸氢铵、苯甲酰氯和复合肥等。1995年,老化肥厂引进硫化染料生产工艺,开始从事硫化染料生产。2013年,因该公司所在位置涉

及棚户区改造，被政府责令停产，目前该企业的厂房、设备已经损毁，锅炉进出水管道被强制淘汰时割断，不具备生产条件，处于闲置状态。

本次调查范围为场区围墙范围内，如图 1 所示。主要包括场地内的多个生产车间、原料仓库及办公生活区。调查范围还包括原化肥厂编织袋厂、化肥和硫化染料生产及原料堆放区，总面积约 85.29 亩。该场区整体地势平坦，地面硬化情况较好。原化肥厂的生产车间、仓库、礼堂、办公区等区域、染料化工染料生产车间、DMDO (4,5-二甲基-1,3-二氧杂环戊烯-2-酮)车间建筑物均未拆除，场地闲置，场内仓库堆放了少量未销售的成品。由于长时间的闲置、原生产罐体部分腐蚀生锈，场地存在罐体残损情况。依据当地政府土地利用规划文件，该场地未来规划为商品住宅用地。



Figure 1. General layout plan of the factory area
图 1. 厂区总平面布置图

经现场踏勘、调查访问、收集场地现状及历史资料，得到场地污染环境风险识别结果。项目场地主要存在的问题可能是多年从事生产复合肥、硫化染料等主要产品造成的，场地可能出现重金属、氨氮、氰化物和有机物等污染。根据场地初步调查评价结果，调查地块土壤中存在重金属(铜、砷和镍)和氨氮超标情况，地下水存在重金属铜、氨氮、氰化物和挥发酚超标的情况。将调查结果与地块原生产企业历史生产情况(原辅材料、生产工艺和污染物等)对比分析，初步调查结果与调查地块原企业的生产污染特征相吻合。

2.2. 采样点布设和样品采集

根据国家《建设用土壤环境调查评估技术指南》《污染场地环境调查技术规范》(HJ25.1-2014)及《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)规定要求进行土壤、地下水地表积水和残余废弃物采样点的布设。通过对《初步调查报告》的分析，结合场地的平面布置图、场区现状，划分不同调查区域，进行系统和判断结合布点。

土壤采样点布设在 40 m × 40 m 网格布点的基础上，对初步调查的超标的区域采取 20 m × 20 m 网格布点。采样深度设定为：在初步调查超标点位采样深度定为超标深度以下 1 m，其余区域采样深度为 3 m；现场采样时用快速检测辅助判断采样位置及采样深度。地下水布点设置地下水监测井深度为 4.5 m；对初

步调查中的部分超标区域周边，设置深度为 6 m 的地下水监测井；并在场内 DMDO 车间旁设置 15 m 深的监测井。

为全面了解本次调查场地土壤和地下水污染物质和污染程度，在调查范围内布设了 55 个土壤采样点，采集 260 个土样，送检样品 256 个；在调查范围内设置 9 口地下水监测井，共采集送检 9 个地下水样品；在厂区外布设 3 个土壤对照点和地下水对照点，采集 12 个土壤对照样品和 3 个地下水对照样品，采集送检 2 个地表积水样。点位布设方案详见图 2。

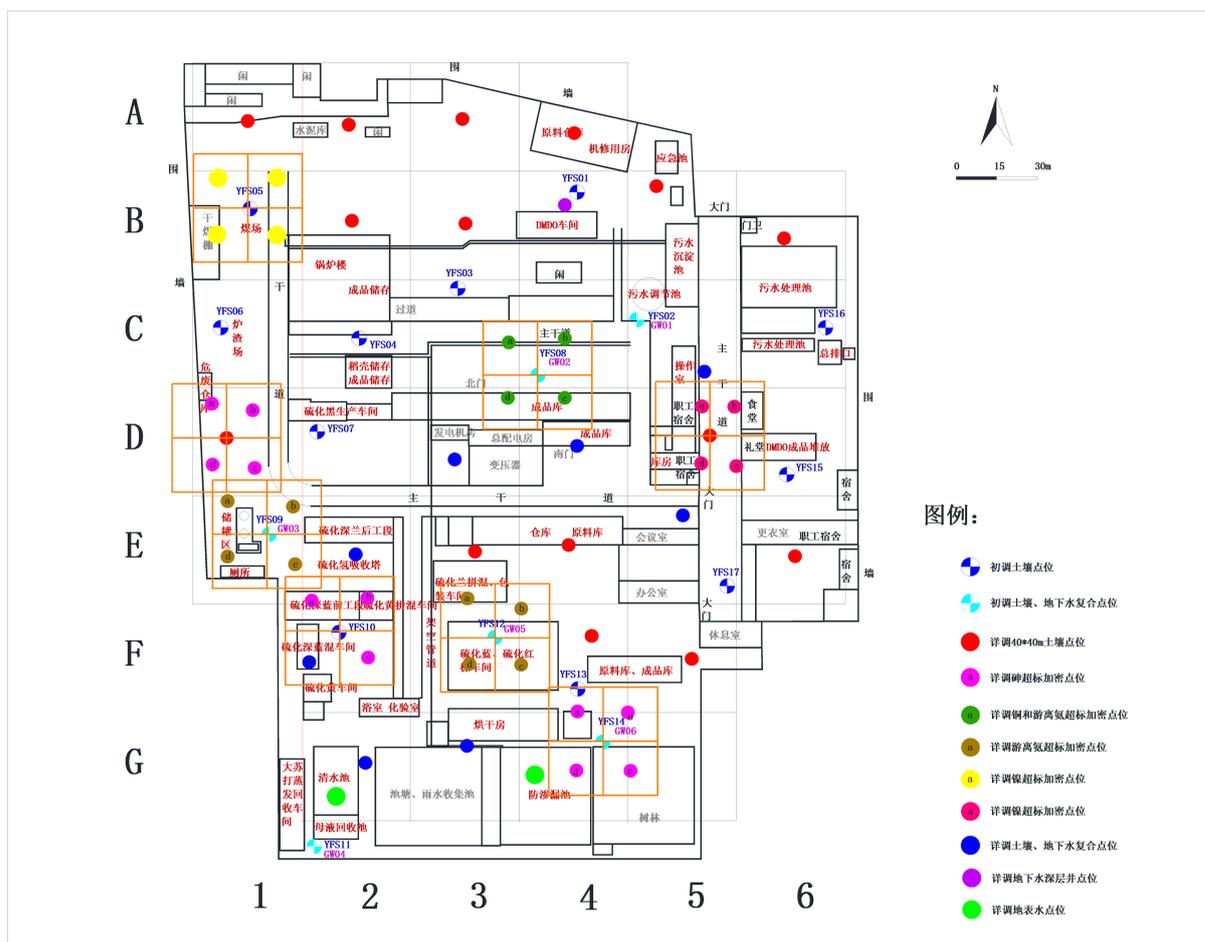


Figure 2. Schematic diagram of sampling points for detailed investigation of site environment
图 2. 场地环境详细调查采样布点示意图

2.3. 样品分析方法

根据场地污染识别阶段判断的特征污染物，结合点位实际情况，确定各点位所采集的土壤样品的检测项目为：《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)中规定的 45 项基本项目。地下水监测因子包含初步调查超标因子(重金属铜、氨氮、氰化物和挥发酚)，并增加常规监测因子(重金属、六价铬、VOCs 和 SVOCs)。样品测定方法采用最新国家标准及美国环保局(EPA)相关方法。

2.4. 评价方法

结合实际情况，综合考虑项目地块未来土地规划为商品住宅用地，及后期环境治理成本与公众安

全因素，基于严格考虑，本次土壤筛选值优先参考我国《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)一类用地标准。对于该标准缺失的污染物，主要根据《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3-2014)计算。地块浅层地下水未来不作为饮用水，本次调查参考《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)中的IV类标准对区域内地下水进行评价，对于以上标准缺失的污染物，通过风险评估软件 HERA 软件计算筛选值。本次调查采集的地表积水是染料厂原清水池和雨水收集池中积水，池中积水原用于厂内设备清洗、地面冲洗等，本次调查采用《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中IV类标准值评价，对于该标准中缺失的部分采用集中式生活饮用水地表水源地特定项目标准限值进行评价。

3. 结果和讨论

3.1. 土壤污染物筛选结果

3.1.1. 土壤 pH

本次调查场地的土壤 pH 值在 7.68~12.00 之间，平均值为 8.59，85%的土壤样品 pH 值在 7.68~9 之间，15%的土壤样品 pH 值在 9~12 之间；综上，调查地块内 pH 值呈弱碱性。

3.1.2. 土壤无机物筛选结果

对所有土壤样品中的重金属(铜、镉、镍、铅、砷、汞)、六价铬、氰化物和氨氮进行检测，其中氰化物和六价铬未检出。本场地土壤样品中各监测因子的监测值与相应的风险筛选值进行对比分析发现：所有土壤样品中污染因子(氰化物、六价铬、汞、镉、铜、镍和铅)的监测值均未超出筛选值，但个别土壤样品中污染因子(氨氮和砷)的监测值超出筛选值，具体情况详见表 1。

Table 1. Screening results of inorganic pollutant in soil
表 1. 土壤无机污染物筛选结果(mg/kg)

序号	污染物	最大值/监测值	筛选值	超标点位	超标倍数
1	氰化物	ND	22	/	/
2	六价铬	ND	3	/	/
3	汞(Hg)	2.14	8	/	/
4	镉(Cd)	0.4	20	/	/
5	铜(Cu)	905	2000	/	/
6	镍(Ni)	44.5	150	/	/
7	铅(Pb)	42	400	/	/
8		767		D1 (0.8~1.0 m)	1.95
9	氨氮	449	260	E1d (2.8~3.0 m)	0.73
10		301		F3a (1.8~2.0 m)	0.16
11	砷(As)	29.0	20	D1 (1.8~2.0 m)	0.45
12		35.2		F2c (2.8~3.0 m)	0.76

3.1.3. 土壤有机物筛选情况

在本次场地调查中，对部分土壤样品的挥发性有机物(VOCs)和半挥发性有机物(SVOCs)进行检测，

共检出 1 种挥发性有机物、15 种半挥发性有机物。本场地土壤样品中各监测因子的监测值与相应的风险筛选值进行对比分析发现：所有土壤样品中污染因子(1,2-二氯乙烷、苯并(a)蒽、屈、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、茚并(1,2,3-cd)芘、二苯并(a,h)蒽、1,4-二氯苯、苯酚、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并(g,h,i)芘和咔唑)的监测值均未超出筛选值，但个别土壤样品中污染因子(苯并(a)芘)的监测值超出筛选值，具体情况详见表 2。

Table 2. Screening results of organic pollutant in soil
表 2. 土壤有机污染物筛选结果(mg/kg)

序号	污染物	最大值/监测值	筛选值	超标点位	超标倍数
1	1,2-二氯乙烷	0.16	0.52	/	/
2	苯酚	3.2	2462	/	/
3	菲	0.71	381	/	/
4	蒽	0.22	5037	/	/
5	芘	1.16	381	/	/
6	苯并(a)蒽	0.96	5.5	/	/
7	屈	1.03	490	/	/
8	苯并(b)荧蒽	1.3	5.5	/	/
9	苯并(k)荧蒽	0.53	55	/	/
10	苯并(a)芘	1.14	0.55	D5 (0~0.5m)	1.07
11	茚并(1,2,3-cd)芘	0.66	5.5	/	/
12	二苯并(a,h)蒽	0.17	0.55	/	/
13	苯并(g,h,i)芘	0.69	381	/	/
14	咔唑	0.10	28	/	/
15	荧蒽	1.32	508	/	/
16	1,4-二氯苯	0.07	5.6	/	/

3.2. 地下水污染物筛选结果

3.2.1. 地下水无机物筛选结果

对采集的 12 份地下水样品检测重金属、氰化物、氨氮和六价铬。本场地地下水样品中各监测因子的监测值与相应的标准值进行对比分析发现：所有地下水样品中污染因子(氰化物、六价铬、砷、镉、铜、铅、镍和汞)的监测值均未超出标准值，但个别地下水样品中污染因子(氨氮)的监测值超出标准，具体情况详见表 3。

3.2.2. 地下水有机物筛选结果

对采集的 12 份地下水样品检测挥发性有机物和半挥发性有机物，本项目所有地下水样品中有机物污染因子仅邻苯二甲酸二甲酯检出，将其监测值与相应的风险筛选值进行对比分析，具体结果详见表 4。

Table 3. Screening results of inorganic pollutant in groundwater**表 3.** 详细调查地下水无机污染物筛选结果

序号	污染物	最大值/监测值	标准值	超标点位	超标倍数
1	氰化物	0.059 mg/L	0.1	/	/
2	六价铬	ND	10	/	/
3	汞(Hg)	0.07 µg/L	2	/	/
4	镉(Cd)	0.3 µg/L	10	/	/
5	铜(Cu)	4.0 µg/L	1500	/	/
6	镍(Ni)	4.3 µg/L	10	/	/
7	铅(Pb)	0.7 µg/L	10	/	/
8	砷(As)	29.6 µg/L	50	/	/
9	氨氮	29 mg/L	1.5	GWD3	18.33
10		4.33 mg/L		GWG3	1.89

Table 4. Screening results of organic pollutant in groundwater**表 4.** 地下水有机污染物筛选结果(µg/L)

序号	污染物	最大值/监测值	标准值	超标点位	超标倍数
1	邻苯二甲酸二甲酯	47.0	3790	/	/

3.3. 地表积水污染物筛选结果

3.3.1. 地表积水无机物筛选结果

本次调查场地内共采集了 2 份地表积水样品, 检测了总磷、总氮、氨氮、氰化物、硫化物、六价铬、石油类、COD_{Cr}、挥发酚、重金属、挥发性有机物和半挥发性有机物。本场地地表积水样品中各监测因子的监测值与相应的标准值进行对比分析发现: 所有地表积水样品中污染因子(总磷、氨氮、氰化物、六价铬、硫化物、石油类、COD、砷、镉、铜、铅和汞)的监测值均未超出标准值, 但个别地表积水样品中污染因子(总氮和挥发酚)的监测值超出筛选值, 具体情况详见表 5。

Table 5. Screening results of inorganic pollutant in groundwater**表 5.** 地表积水无机污染物筛选结果(mg/L)

序号	污染物	最大值/监测值	筛选值	超标点位	超标倍数
1	总磷	0.05	0.3	/	/
2	总氮	2.7	1.5	DB1	0.8
3	氨氮	0.724	1.5	/	/
4	氰化物	ND	0.2	/	/
5	硫化物	ND	0.5	/	/
6	六价铬	ND	0.05	/	/
7	石油类	ND	0.5	/	/

Continued

8	CODcr	16	30	/	/
9	挥发酚	0.03	0.01	DB1	2
10	砷(As)	0.0032	0.1	/	/
11	镉(Cd)	ND	0.005	/	/
12	铜(Cu)	0.0057	1.0	/	/
13	铅(Pb)	ND	0.05	/	/
14	镍(Ni)	-	0.02	/	/
15	汞(Hg)	ND	0.001	/	/

3.3.2. 地表积水有机物筛选结果

本次调查对本次场地内 2 份地表积水样品检测了挥发性有机物和半挥发性有机物, 各监测因子均未检出, 由于检出限低于标准值, 故本次调查场地地表积水样品中挥发性有机物和半挥发性有机物均未超出标准值。

4. 风险评估

4.1. 确定关注污染物

根据场地调查结果、将对人群等敏感受体具有潜在风险、超过筛选评价标准, 需要进行风险评估的污染物, 确定为关注污染物。其中, 土壤污染物为氨氮、铜、砷、镍和苯并(a)芘, 地下水污染物为氨氮、氰化物、铜和挥发酚(以苯酚计)。该地块规划用地性质为商业住宅用地。

4.2. 暴露评估

4.2.1. 暴露情景

本次调查场地属于商品住宅用地, 按照敏感用地的情景进行分析。考虑到本场地规划的情况, 调查场地该情景受体为成人和儿童。

4.2.2. 暴露途径

场地污染土壤的暴露途径包括: 经口摄入污染土壤、皮肤直接接触污染土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外土壤挥发气体、吸入室内土壤挥发气体。场地污染地下水的途径包括: 吸入室外地下水挥发气体、吸入室内地下水挥发气体、饮用地下水。根据调查结果, 本场地土壤和地下水均存在潜在污染, 考虑到本场地规划的情况, 场地地下水不作为饮用水, 暴露途径如下: 1) 土壤暴露途径: 经口摄入污染土壤、皮肤直接接触污染土壤、吸入土壤颗粒物、吸入室外土壤挥发气体、吸入室内土壤挥发气体; 2) 地下水暴露途径: 吸入室内地下水蒸气和吸入室外地下水蒸气。

4.3. 毒性评估

毒性评估是评估人群对污染物的暴露程度与产生负面效应的可能性二者之间关系的方法。根据不同暴露途径对人体健康产生的危害效应, 毒性评估包括致癌效应和非致癌效应。污染物人体毒性数据的获取优先参考《导则》和《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)》中给定的污染物的理化参数及毒性参数, 导则中未包括的污染物, 其理化性质基毒性参数主要通过参考国外权威机构简历的数据库获取。

4.4. 风险表征

根据暴露评估及毒性评估的结果,对所有的信息进行整合,以定性或定量的描述风险。对非致癌风险采取风险商的方式进行描述;对潜在的致癌风险,根据污染物的致癌斜率因子及致癌暴露剂量评估受体可能面对的致癌风险。针对超出筛选值的关注污染物,采取逐点、逐层计算的方式计算每个点位的样品对人体健康所产生的风险和危害。对单一污染物以 $1.0E-06$ 为可接受致癌风险水平。对于非致癌危害指数,单一污染物非致癌危害指数以 1 为可接受风险水平。根据上述单一污染物的可接受风险水平及场地综合风险可接受水平,筛选一类用地方式下的高风险污染物及点位。

4.4.1. 土壤风险表征

由于氨和铜属于非致癌污染物,仅能计算其危害指数。土壤点位计算结果见表 6。由表 6 可知,本场地详调点位 D5 (0~0.5 m)苯并(a)芘和初调点位 YFS05 (0~0.2 m)重金属镍(Ni)的致癌危害指数均大于 $1E-06$,风险不可接受,需要进行修复;初调点位 YFS08 (0.8~1.0 m)重金属铜(Cu)的非致癌危害指数均大于 1,风险不可接受,需要进行修复;其他点位非致癌危害指数均小于 1,风险均可接受。

Table 6. Risk screening of soil single pollutant based on exceeding points

表 6. 超筛选值点位土壤单一污染物风险筛选

序号	调查时期	编号	关注污染物	监测结果 (mg/kg)	致癌风险	危害指数	风险是否可接受
1		YFS08 (0~0.2m)	铜(Cu)	3710	/	0.93	是
2		YFS08 (0.8~1.0m)	铜(Cu)	7680	/	1.92	否
4		YFS05 (0~0.2m)	镍(Ni)	501	$2.05E-06$	0.45	否
4	初调点位	YFS09 (0~0.2m)	氨氮	1330	/	0.13	是
5		YFS09 (2.3~2.5m)	氨氮	850	/	0.09	是
6		YFS08 (0~0.2m)	氨氮	923	/	0.09	是
7		YFS12 (2.3~2.5m)	氨氮	876	/	0.09	是
8		YFS12 (2.8~3.0m)	氨氮	405	/	0.04	是
1	详调点位	D1 (0.8~1.0m)	氨氮	767	/	0.08	是
2		E1d (2.8~3.0m)	氨氮	449	/	0.05	是
3		D5 (0~0.5m)	苯并(a)芘	1.14	$1.36E-06$	0.09	否

对于调查地块土壤中重金属砷的风险筛选值的确定,考虑到调查地块用地功能转变为建设用地之前长期作为农田耕地使用,且地块周边未开发建设前均是农田耕地。根据《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》表 A.1 中规定:水稻土中重金属砷的背景值为 40 mg/kg ,因此本次调查将水稻土的重金属砷的背景值(40 mg/kg)作为地块的修复目标值,具体评价结果详见表 7。由表 7 可知,本场地的土壤点位 YFS14 (1.3~1.5 m)、D1 (1.8~2.0 m)和 F2c (2.8~3.0 m)中砷的监测值均低于修复目标值,风险可接受。

4.4.2. 地下水风险表征

由于氨、铜和氰化物属于非致癌污染物,仅能计算其非致癌危害指数,且铜和氨缺少水中扩散系数和空气扩散系数,因此铜和氨无法计算呼吸吸入室内外地下水挥发暴露途径的危害指数,本次敏感用地

地下水点位风险表征计算结果表 8。由表 8 可知：初调点位 GW01 氰化物和挥发酚(以苯酚计)的非致癌危害指数均小于 1，风险可接受。

Table 7. Evaluation results of arsenic based on exceeding points

表 7. 超筛选值点位土壤砷评价结果

污染物点位(深度)	砷(As)		
	超筛选值浓度 mg/kg	使用值(修复目标值)	管制值标准
YFS10 (0.2~0.4 m)	24.1		
YFS14 (1.3~1.5 m)	24	40	120
D1 (1.8~2.0 m)	29.0		
F2c (2.8~3.0 m)	35.2		

Table 8. Non carcinogenic hazard index of single pollutant in groundwater

表 8. 地下水单一污染物非致癌危害指数

序号	调查时期	编号	地点	关注污染物	监测结果 (mg/L)	危害指数	风险是否可接受
1	初调 点位	GW02	压缩车间	铜	18.4	/	/
2		GW02	压缩车间	氨氮	396	/	
3		GW03	碳酸氢铵存储库	氨氮	1010	/	/
4		GW04	大苏打回收池	氨氮	6.41	/	/
5		GW05	硫化兰车间	氨氮	32.6	/	/
6		GW01	气柜	氰化物	0.159	0.02	是
7		GW01	气柜	挥发酚(以苯酚计)	0.0288	0.01	是
1	详调 点位	GWD3	发电站	氨氮	18.33	/	/
2		GWG3	烘干房	氨氮	1.89	/	/

由于铜和氨氮缺少相关参数无法计算其危害指数，本次评价氨氮参考美国 EPA 《Resident Vapor Intrusion Screening Levels (VISL) - May 2018》

(<https://www.epa.gov/vaporintrusion/vapor-intrusion-screening-level-calculator>)中的地下水氨氮的浓度目标值；铜选用《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)中铜的IV类标准值作为地下水铜的浓度目标值；将本场地地下水中氨氮和铜的超标准值的浓度与以上标准进行对比，具体情况详见表 9。由表 9 可知：初步调查地下水点位 GW03 的氨氮和 GW02 的铜超出标准值，未达到相关标准，需要进行修复。

Table 9. Risk assessment results of ammonia nitrogen in groundwater based on exceeding points

表 9. 超筛选值点位地下水氨氮的风险评估结果

序号	调查时期	编号	地点	关注污染物	监测结果 (mg/L)	评估标准 (mg/L)	是否达标
1	初调 点位	GW02	压缩车间	铜	18.4	1.5	否
2		GW02	压缩车间	氨氮	396	792	是

Continued

3	初调 点位	GW03	碳酸氢铵存储库	氨氮	1010	792	否
4		GW04	大苏打回收池	氨氮	6.41	792	是
5		GW05	硫化兰车间	氨氮	32.6	792	是
1	详调 点位	GWD3	发电站	氨氮	18.33	792	是
2		GWG3	烘干房	氨氮	1.89	792	是

综上, 经过计算地下水中的氰化物和挥发酚的危害指数全部可接受, 但初调地下水点位 GW03 的氨氮和 GW02 的铜超出标准值, 未达到相关标准, 需要进行修复。

4.5. 风险控制值及修复目标值

本调查地块在商品住宅用地方式下, 通过计算本场地的土壤和地下水的风险可知:

1) 详调土壤点位 D5 (0~0.5 m)的苯并(a)芘、初调点位 YFS05 (0~0.2 m)的重金属镍(Ni)、初调点位 YFS08 (0.8~1.0 m)的重金属铜(Cu)超出可接受的风险水平, 需实施土壤风险控制与修复治理措施; 其余点位的人体健康风险可接受。

2) 土壤点位 YFS14 (1.3~1.5 m)、D1 (1.8~2.0 m)和 F2c (2.8~3.0 m)中砷的监测值均低于修复目标值, 风险可接受。

3) 本场地地下水中的氰化物和挥发酚的危害指数全部可接受, 但初调地下水点位 GW03 的氨氮和 GW02 的铜超出标准值, 需要进行修复。

本场地具体修复点位见表 10。

Table 10. List of soil and groundwater remediation points

表 10. 土壤和地下水修复点位一览表

序号	调查时期	编号	关注污染物	监测结果	风险控制值	超标倍数
1	初调	D5	苯并(a)芘	1.14 mg/kg	0.84 mg/kg	0.36
2		YFS08	铜	7680 mg/kg	4004 mg/kg	0.92
3		YFS05	镍	501 mg/kg	244 mg/kg	1.05
4		GW03	氨氮	1010 mg/L	792 mg/L	0.28
5		GW02	铜	18.4 mg/L	1.5 mg/L	11.27

4.6. 场地土壤修复目标值及修复范围

按照《污染场地风险评估技术导则》(HJ25.3-2014)和《污染场地土壤修复技术导则》(HJ25.4-2014)确定土壤修复建议目标。本调查地块需要进行修复的土壤污染物为苯并(a)芘、镍和铜, 计算得到的风险控制值小于管制值, 符合《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)》的要求, 因此推荐其风险控制值作为修复目标值。本调查地块地下水环境需要进行修复的污染物有氨氮和重金属铜, 其中氨氮的修复目标值参考美国 EPA 《Resident Vapor Intrusion Screening Levels (VISL) - May 2018》

(<https://www.epa.gov/vaporintrusion/vapor-intrusion-screening-level-calculator>)中的地下水浓度目标值(792 mg/L), 重金属铜的修复目标值选用《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)中铜的 IV 类标准值(1.5 mg/L)具体详见表 11。

Table 11. Recommended remediation target values of this site**表 11.** 本场地土壤推荐修复目标值

序号	污染物种类	推荐修复目标值(mg/kg)	管制值(mg/kg)
1	苯并(a)芘	0.84	5.5
2	铜	4004	8000
3	镍	244	600
4	氨氮	792	-
5	铜	1.5	-

根据建议修复目标值和点位监测数据,使用 surfer 软件 Kring 插值进行浓度等值线绘制,保守角度考虑,以污染点位周边无污染的点位和浓度等值线边界作为修复范围边界,修复深度考虑工程实施因素适度增加到达标深度,划定本次土壤修复范围。根据 surfer 软件插值算结果,调查地块场地土壤各污染因子的修复情况如下:

1) **苯并(a)芘**: 染料厂场地有 1 个区域需要修复土壤中的苯并(a)芘,修复面积约为 101 m²,对应的超标点位为 D5 (0~0.5 m),最大深度为 0.5 m,超标点位深度 0.5 m 以下最近的检测深度 1.0 m 样品未超标,因此苯并(a)芘的修复深度为 1.0 m,计算得到的苯并(a)芘修复土方量约为 101 m³。

2) **重金属铜**: 染料厂场地有 1 个区域需要修复土壤中的重金属铜,修复面积约为 425 m²,对应的超标点位为 YFS08 (0.8~1.0 m),最大深度为 1.0 m,超标点位深度 1.0 m 以下最近的检测深度 5.0 m 样品未超标(加密点位均未超标),又场地内超标污染物最大深度为 3.0 m,因此本次调查建议重金属铜的修复深度为 3.0m,计算得到的重金属铜修复土方量约为 1275 m³。

3) **重金属镍**: 染料厂场地有 1 个区域需要修复土壤中的重金属镍,修复面积约为 277 m²,对应的超标点位为 YFS05 (0~0.2 m),最大深度为 0.2 m,超标点位深度 0.2 m 以下最近的检测深度 1.5 m 样品未超标,因此重金属镍的修复深度为 1.5 m,计算得到的重金属镍修复土方量约为 415.5 m³。

经计算得到场地三个修复区域的修复面积总和为 803 m²,修复土方量总和为 1791.5 m³。

根据 surfer 软件插值算结果,调查地块场地地下水中氨氮和铜修复情况如下:染料厂场地有 1 个区域需要修复地下水中的氨氮,修复面积约为 257 m²,对应的超标点位为 GW03,水位埋深 1.02 m,含水层深度平均深度约为 10.5 m,含水率约为 34.3%,故计算得到的氨氮修复水量约为 926 m³;有 1 个区域需要修复地下水中的铜,修复面积约为 13445 m²,对应的超标点位为 GW02,水位埋深 0.91 m,含水层深度平均深度约为 10.5 m,含水率约为 34.3%,故计算得到的氨氮修复水量约为 48422 m³。

5. 结论和建议

土壤中超出风险可接受水平的污染物为镍、铜和苯并(a)芘,其中,重金属镍的推荐修复目标值为 244 mg/kg,超标点位为 YFS05 (0~0.2 m),超标倍数为 1.05;重金属铜的推荐修复目标值为 4004 mg/kg,超标点位为 YFS08 (0.8~1.0 m),超标倍数为 0.92;苯并(a)芘的推荐修复目标值为 0.84 mg/kg,超标点位为 D5 (0~0.5 m),超标倍数为 0.36。本场地地下水点位存在超出可接受的风险水平,需实施地下水风险控制与修复治理措施。地下水中超出风险可接受水平的污染物为氨氮和铜,其中,氨氮推荐修复目标值为 792 mg/L,超标点位为 GW03,超标倍数为 0.28;铜推荐修复目标值为 1.5 mg/L,超标点位为 GW02,超标倍数为 11.27。

场地土壤中镍、铜和苯并(a)芘的修复区域分别为:镍修复面积为 277 m²,修复深度为 1.5 m,修复土方量约为 415.5 m³;铜修复面积为 425 m²,修复深度为 3.0 m,修复土方量约为 1275 m³;苯并(a)芘修

复面积为 101 m², 修复深度为 1.0 m, 修复土方量约为 101 m³。三个修复区域的修复面积总和为 803 m², 修复土方量总和为 1791.5 m³。

场地地下水中氨氮和铜的修复区域分别为: 氨氮修复面积为 257 m², 含水层深度平均深度约为 10.5 m, 含水率约为 34.3%, 修复水量约为 926 m³; 铜修复面积为 13,445 m², 含水层深度平均深度约为 10.5 m, 含水率约为 34.3%, 修复水量约为 48,422 m³。两个修复区域的修复面积总和为 13,702 m², 修复土方量总和为 49,348 m³。

本场地除铜污染点位外, 其他点位污染物均不相同, 建议尽量选择原位修复, 或者原地异位修复时采取措施避免污染物交叉污染。本场地小部分区域土壤检测出氨氮, 虽然经风险评估确定人体健康风险可接受, 但是氨氮较易挥发, 建议在修复过程中, 需要考虑氨氮的异味处理, 确保修复后的土壤没有异味。

参考文献

- [1] 张倩, 谷庆宝. 工业企业搬迁遗留场地环境风险管理对策[J]. 环境影响评价, 2015, 37(1): 10-14.
- [2] 张磊, 展漫军, 杭静, 王勇. 南京市某电镀企业搬迁遗留场地调查及风险评估[J]. 环境监测管理与技术, 2015, 27(6): 33-36.
- [3] 黄玮. 上海某再开发利用地块土壤及地下水污染状况调查与风险评估[J]. 黑龙江环境通报, 2022, 35(1): 31-334.
- [4] 杨志龙. 上海某重点企业搬迁后土壤污染状况调查与健康风险评估研究[J]. 化工设计通讯, 2022, 48(4): 209-211.
- [5] 何缘, 朱纯, 陈志敏, 欧阳璐. 某涂料企业遗留生产场地污染调查及风险评估[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2020, 47(10): 133-140.
- [6] 王冬莹, 董如鑫, 张清平, 韩磊. 某油墨生产企业遗留场地污染调查与风险评估[J]. 环境科学与管理, 2022, 47(6): 184-189.
- [7] 陈利彬, 吕明超, 陆海建. 华南某典型皮革厂地块土壤污染状况调查与风险评估[J]. 农业与技术, 2022, 42(22): 83-86.
- [8] 吕明超, 徐梦劫, 董敏刚, 李洪伟, 刘丽丽, 陆海建, 邓一荣. 华南某典型香料厂地块土壤污染状况调查与风险评估[J]. 农业与技术, 2021, 41(21): 93-95.
- [9] 刘玮晶, 刘焯, 汪子意, 贺新星, 金洋, 许伟伟, 黄顺生. 典型工业遗留场地土壤污染特征分析及风险评估[J]. 环境监测管理与技术, 2021, 33(4): 40-44.
- [10] 阳丁, 聂芳芬. 某化工遗留场地土壤环境调查及风险评估[J]. 皮革制作与环保科技, 2023, 4(7): 162-164.
- [11] 王国锋, 李媛, 韩政兴, 余强. 某污染地块补充调查及风险评估研究[J]. 江西科学, 2021, 39(5): 873-878.