

	CaCO ₃ 计) (mg/L)						
3	溶解性总固体 (mg/L)	≤300	≤500	≤1000	≤2000	>2000	
4	硫酸盐 (mg/L)	≤50	≤150	≤250	≤350	>350	
5	氯化物 (mg/L)	≤50	≤150	≤250	≤350	>350	
6	铁 (mg/L)	≤0.1	≤0.2	≤0.3	≤2.0	>2.0	
7	锰 (mg/L)	≤0.05	≤0.05	≤0.1	≤1.5	>1.5	
8	挥发性酚类 (以苯酚计) (mg/L)	≤0.001	≤0.001	≤0.002	≤0.01	>0.01	
9	耗氧量 (COD _{Mn} 法, 以 O ₂ 计) (mg/L)	≤1.0	≤2.0	≤3.0	≤10.0	>10.0	
10	氨氮 (mg/L)	≤0.02	≤0.10	≤0.50	≤1.50	>1.50	
常规指标: 毒理学指标							
11	亚硝酸盐(以 N 计) (mg/L)	≤0.01	≤0.10	≤1.00	≤4.80	>4.80	
12	硝酸盐(以 N 计) (mg/L)	≤2.0	≤5.0	≤20.0	≤30.0	>30.0	
13	氰化物 (mg/L)	≤0.001	≤0.01	≤0.05	≤0.1	>0.1	
14	氟化物 (mg/L)	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤2.0	>2.0	
15	汞 (mg/L)	≤0.000 1	≤0.000 1	≤0.001	≤0.002	>0.002	
16	砷 (mg/L)	≤0.001	≤0.001	≤0.01	≤0.05	>0.05	
17	镉 (mg/L)	≤0.000 1	≤0.001	≤0.005	≤0.01	>0.01	
18	铬(六价) (mg/L)	≤0.005	≤0.01	≤0.05	≤0.10	>0.10	
19	铅 (mg/L)	≤0.005	≤0.005	≤0.01	≤0.10	>0.10	
非常规指标: 毒理学指标							
20	苯 (ug/L)	≤1	≤10	≤100	≤600	>600	
21	苯并(b) 荧蒽 (ug/L)	≤0.1	≤0.4	≤4.0	≤8.0	>8.0	
22	苯并(a) 芘 (ug/L)	≤0.002	≤0.002	≤0.01	≤0.50	>0.50	
23	石油类 (mg/L)	≤0.05	≤0.05	≤0.05	≤0.5	≤1.0	《地表水环境质量 标准》 (GB/T3838-2002)

污染物排放标准

4.5 废气

本项目修复过程中产生的颗粒物执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中表 2 颗粒物（其他）标准限值。

本项目修复过程中产生的 VOCs、苯、甲苯与二甲苯执行《天津市工业企业挥发性有机物排放标准》（DB12/524-2014）中表 2“其他行业”标准限值；氯乙烯、氯苯类执行《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）中表 2、表 5 相应标准限值；苯乙烯、乙苯、臭气浓度执行《恶臭污染物排放标准》（DB12/059-2018）表 1、表 2 相应标准限值。

本项目废气污染物排放标准如下表所示：

表 4.5-1 废气污染物排放标准一览表

污染物	标准限值				标准来源
	有组织排放			无组织排放浓度限值 mg/m³	
	排气筒高度（m）	排放浓度限值 mg/m³	排放速率 kg/h		
颗粒物	15m	120	1.75*	1.0	《大气污染物综合排放标准》 (GB16297-1996) 表 2
氯苯类	15m	60	0.26*	0.40	
氯乙烯	15 m	36	0.385*	0.60	
VOCs	15m	80	1.0*	2.0	《天津市工业企业挥发性有机物排放标准》 (DB12/524-2014) 表 2“其他行业”、表 5
甲苯及二甲苯合计	15m	40	0.5*	甲苯 0.6 二甲苯 0.2	
苯	15m	1.0	0.125*	0.1	
臭气浓度	15m	1000（无量纲）		20（无量纲）	《恶臭污染物排放标准》 (DB12/059-2018) 表 1、表 2
苯乙烯		/	1.5	1.0	
乙苯		/	1.5	1.0	

注：*本项目排气筒周边 200m 最高建筑物为密闭钢结构大棚，最高处为 13m，排气筒设置高度不满足高出周围 200m 半径范围的建筑 5m 以上的要求，最高排放速率严格 50%执行。

4.6 废水

本项目废水排入咸阳路污水理厂集中处理，执行《污水综合排放标准》（DB12/356-2018）三级标准。

本项目废水排放标准如下表所示：

表 4.6-1 《污水综合排放标准》三级标准限值（mg/L，pH 除外）

污染因子	COD	BOD	SS	氨氮	石油类	氯仿（三氯甲烷）	三氯乙烯
三级标准	500	300	400	45	15	1.0	1.0

污染因子	四氯乙烯	苯	乙苯	间&对-二甲苯	1,4-二氯苯	三氯苯	镍
三级标准	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0
污染因子	铅	砷	锰	/	/	/	/
三级标准	0.5	0.3	5.0	/	/	/	/

4.7 噪声

修复期场界环境噪声排放执行《建筑施工场界环境噪声排放标准》(GB12523-2011)，具体标准限值如下：

表 4.7-1 施工阶段作业噪声限值 单位：dB(A)

昼间	夜间
70	55

4.8 固体

固体废弃物执行《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》、《天津市生活垃圾废弃物管理规定》(2008.5.1)；一般工业固体废物执行 GB18599-2001《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》及其修改清单；

危险废物的收集、贮存执行《危险废物贮存污染控制标准》(GB18597-2001)及 2013 年修改单、《危险废物收集贮存运输技术规范》(HJ2025-2012)中的有关要求。

总量控制指标

结合“十三五”污染物排放总量控制指标及本项目排污特点，本项目对污染土壤进行修复，不属于连续长期生产，因此不需申请污染物排放总量控制指标。

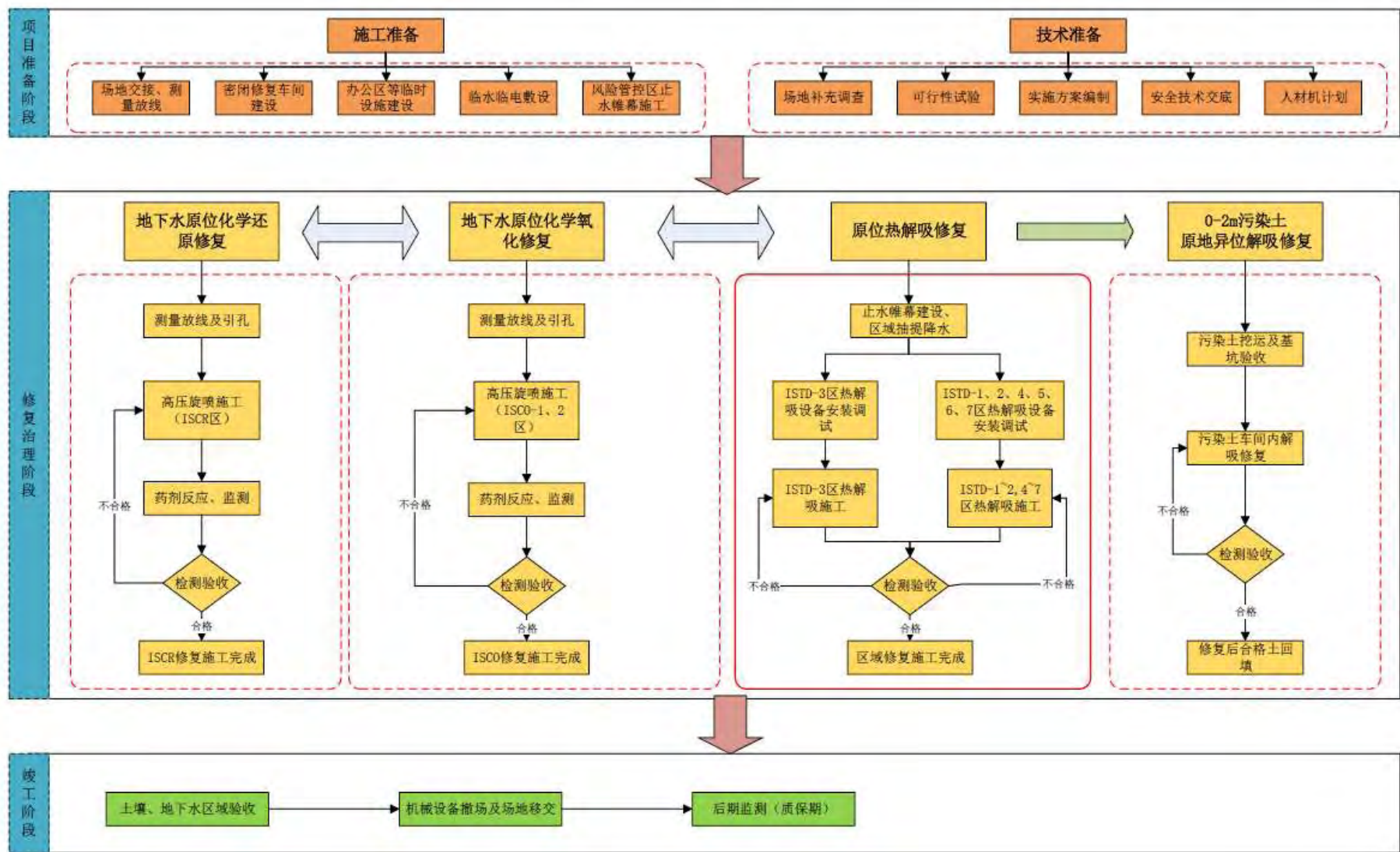


图 5.1-1 总体施工流程图

五、建设项目工程分析

工艺流程简述:

本项目属于土壤污染修复治理的环保工程，不再区分施工期和运营期。总体施工流程见图 5.1-1。

本项目技术施工路线共分为四个阶段：

(1) 第一阶段（施工和技术准备）：重点对现场设置办公区、生活区、待检场、配药站、密闭式修复车间、洗车池建设。

(2) 第二阶段（阻隔止水帷幕施工和原位修复阶段）：采用原位热解吸技术、原位化学氧化、原位化学还原技术对场地土壤及地下水进行修复阶段；并对场地四侧厂界进行阻隔止水帷幕施工。

(3) 第三阶段（原地异位解吸阶段）：采用异位解吸修复对浅层土壤进行开挖、异位修复、回填等；

(4) 第四个段（竣工验收及管控阶段）：为整体验收移交。

以下分阶段描述各施工阶段工程内容。

5.1 第一阶段施工（2018 年 3 月 2 日~2019 年 2 月 28 日）

1、施工准备

(1) 场地清理

为便于地下污染土壤的开挖，暴露污染土壤作业面，需将现场施工区域表层的建筑垃圾和杂草树根清运至场地其他空置区域集中存放，设立标识，并采用密目网进行覆盖，防止扬尘。

(2) 施工临时围挡搭设

在各施工区域周边采取封闭式围护，为彩钢压型板材质，在行车方向上留出专门的出入口，作为施工人员、设备的专用通道，并在门口设置专业保安人员进行看护，悬挂宣传标识。

(3) 施工现场防护

土方清运前，做好施工区道路的硬化。出入口处设洗车池等设施，车辆出场前进行清洗，防止车辆带泥土出场。

(4) 施工路面硬化

测量人员做好场内道路位置的测量放线工作，之后土方施工队伍按照划定好的线

路修建主干道及污染区域与主干道施工辅路的修建，对于道路铺设 20 cm 混凝土，确保开工时道路通畅。

(5) 现场临时水电施工

按照现场临时水电布置方案，进行施工用水接驳和管线铺设，施工用电线路铺设和电箱布置，以及防降雨和排水设施的施工。

(6) 密闭修复车间建设

本项目在场区东部建设密闭修复车间（60m×32m×9m）一座，密闭车间采用轻型钢结构做基础。大棚建设过程主要包括钢结构大棚基础施工及钢结构大棚搭建施工。密闭钢结构大棚主要参数表如下表所示：

表 5.1-1 密闭钢结构大棚（固定）主要参数表

参数名称	具体参数
密闭大棚组成	多功能膜材（PVDF）、铝合金锚固装置
	混凝土抗渗地面
	2 个密闭双层物流门及防撞设施
	2 个安全门、1 个旋转门
设计规格	长 60m、宽 32m、高 9m；面积 1920m ²
抗渗混凝土地面厚度	250mm
抗雪荷载	≥97.5kg/m ²
抗风能力	≥400N/m ²

钢结构大棚基础施工过程中扰动土壤，会产生一定量的扬尘；基础施工及设备安装过程中会有一定的施工噪声 N 产生。

	
场地围挡	密闭修复车间内部实景图



密闭修复车间外部实景图



密闭修复车间环保设施及排气筒

2、技术准备（2018 年 5 月 30 日~2019 年 2 月 28 日）

本项目技术准备主要是进行原位热解吸、原位化学还原、原位化学氧化中试修复试验。

1) 中试修复工程量

①中试修复示意图

根据《实施方案》，本项目中试修复试验区域如下图所示：

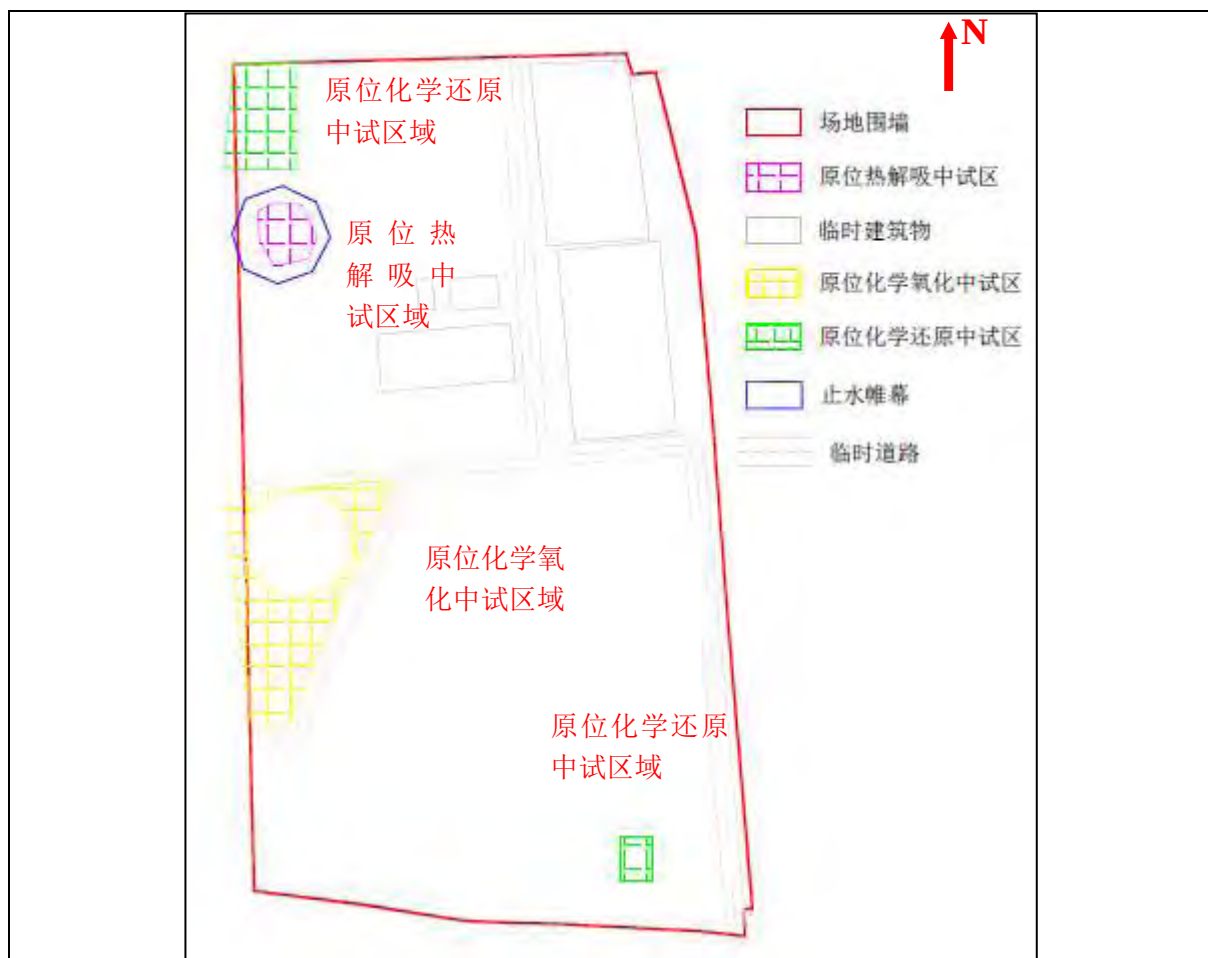


图 5.1-2 中试修复试验示意图

②中试试验工程量

由于开挖区域和原位热解吸区域为同一区域，根据《实施方案》，此区域首先进行开挖，污染土壤经过密闭汽车运输至密闭钢结构大棚暂存。开挖完成后，开始原位热解吸中试试验。为避免原位热解吸修复过程中污染气体从地下散逸至地表，对开挖区域的坑底和坑壁设置保温层进行阻隔，即在坑底和坑壁铺设铺设 200 mm 厚粗砂层厚，采用轻质混凝土 C20 混凝土填缝覆盖，厚度为 200 mm、坍落度为 180 ± 20 mm。



图 5.1-3 基坑保温层实景图

根据《实施方案》，本项目中试试验工程量如下表 5.1-2~表 5.1-4 所示：

表 5.1-2 原位热解吸中试工程量

修复分区	修复深度(m)	修复厚度(m)	修复面积(m ²)	修复方量(m ³)
原地异位解吸	0~-2	2	278.9	557.8
原位热解吸土壤	-2~-9	7	278.9	1952.3
原位热解吸地下水	-3~-7	4	628	2512

表 5.1-3 原位化学氧化中试工程量

编号	项目	规模/数量
1	地下水污染面积 (m ²)	1474
2	含水层深度 (m)	-3.5~-7.5
3	含水层体积 (m ³)	5896

表 5.1-4 原位化学还原中试工程量

分区	编号	项目	规模/数量
ISCR-1A	1	地下水污染面积 (m ²)	706
	2	含水层深度 (m)	-3~-7
	3	含水层体积 (m ³)	2824
ISCR-1B	1	地下水污染面积 (m ²)	136

	2	含水层深度 (m)	-3.5~-7.5
	3	含水层体积 (m ³)	544
总计含水层体积 (m ³)			3368

③中试试验施工流程

原位热解吸中试试验、原位化学氧化中试试验、原位化学还原中试试验施工流程与第二、三阶段的原位热解吸施工、原位化学氧化施工、原位化学还原施工流程一致，详见第二、第三阶段施工流程。

第一阶段工作目前已经完成。

5.2 第二阶段施工（2020 年 9 月 1 日~2021 年 5 月 8 日）

5.2.1 风险管控施工（2020 年 9 月 1 日~2021 年 9 月 30 日）

5.2.1.1 修复布置图

根据《实施方案》，本场地四侧厂界建设止水帷幕，止水帷幕施工布置图如下图所示：

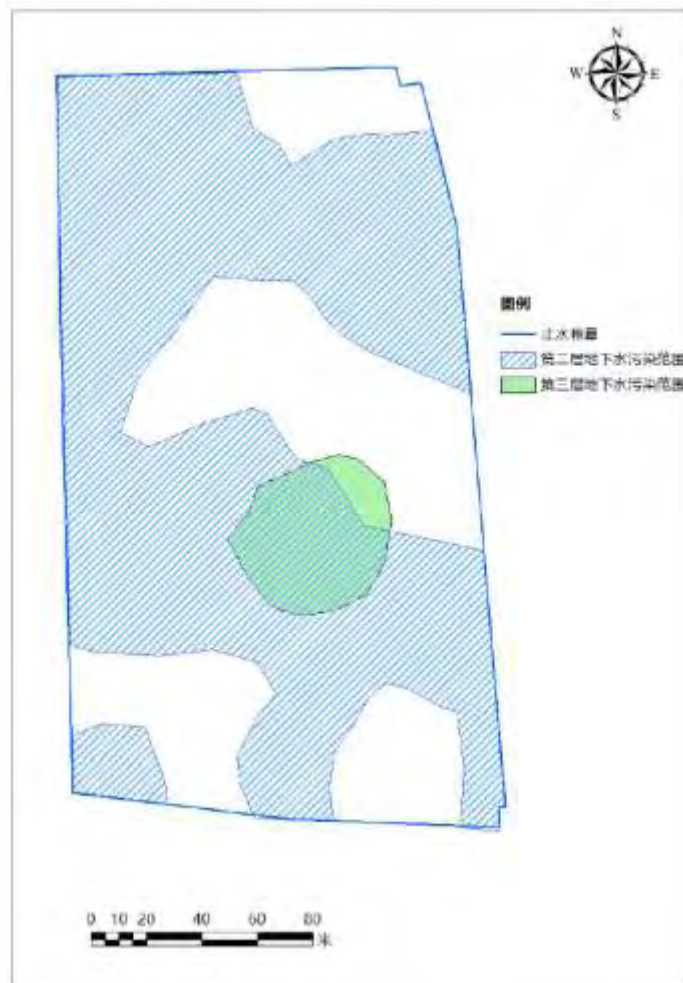


图 5.2-1 止水帷幕施工布置图

5.2.1.2 工程量

根据《实施方案》，止水帷幕施工工程量如下表所示：

表 5.2-1 止水帷幕施工工程量一览表

长度（m）	深度（m）	形式	备注
824	0-8m	双排三轴搅拌桩	桩长深入隔水底板不小于 1m

注：阻隔深度比地下水水位深 1m。

止水帷幕建设完成后，在场区东侧、南侧、西侧和北侧分别建设1 口地下水监测井，由于监测井主要用于监测第二层潜水含水层（局部含DNAPL），故监测井井管位于0~6 m，筛管位于6~7 m，确保能采集到DNAPL（如果存在）。

表5.2-2 地下水监测井施工工程量统计表

序号	区域	建井深度（m）	井管长度（m）	筛管长度（m）
1	东侧	7	6	1
2	南侧	7	6	1
3	西侧	7	6	1
4	北侧	7	6	1
合计		28	24	4

注：井管和筛管材质均为PVC。

5.2.1.3 施工流程

1) 止水帷幕施工流程

本项目风险管控区三轴水泥搅拌桩有效桩长为 8 m，采用套打一孔成桩方法，采用双排 $\phi 850@1200$ 的三轴水泥搅拌桩形式，组间咬合 250 mm，组与组之间咬合 850 mm，排与排间咬合 250 mm，最后形成 1.45 m 的止水帷幕，42.5 级普通硅酸盐水泥，水灰比 1.5~1.7，水泥掺量 20%（相邻三轴与三轴重叠、套打区为 40%）。

双排三轴搅拌桩施工顺序和单排相同，双排之间的接头示意图如下：



图 5.2-2 双排三轴搅拌桩施工接头示意图

三轴搅拌桩施工施工流程如下图所示。

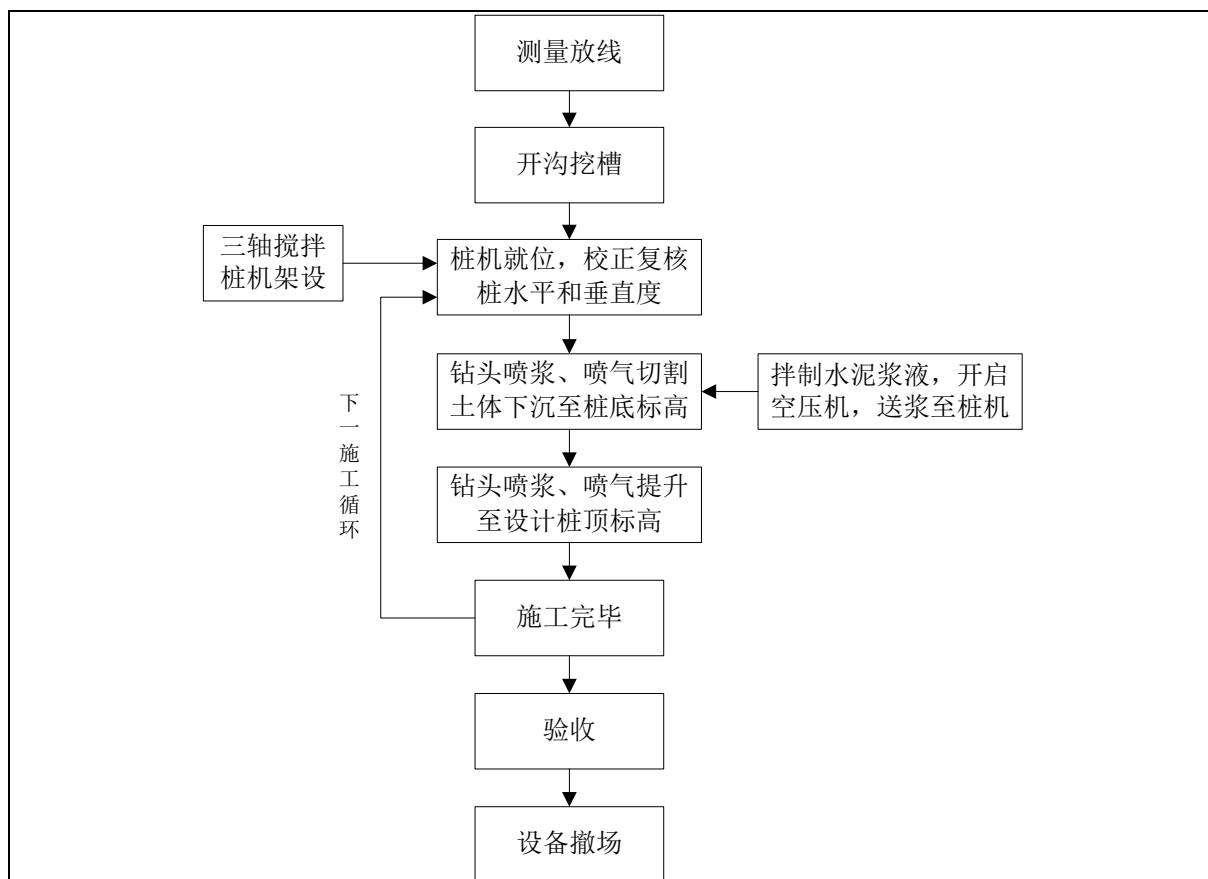


图 5.2-3 三轴搅拌桩施工流程

根据《实施方案》，三轴搅拌桩施工时，按照西南→东北的顺序施工。具体施工步骤如下：

①测量放线：根据设计提供坐标基准点、总平面布置图、围护工程施工图，放出桩位控制线，设立临时控制桩。

②开挖沟槽：根据基坑围护边线用挖机开挖槽沟，沟槽宽约 1.0m，深 0.7~1m。开挖过程中有少量扬尘产生。开挖沟槽过程产生的污染土壤运往固定钢结构大棚内暂存，与后续开挖土壤一并经异位处理后回填入厂区。

③桩机就位，用经纬仪进行观测以确保钻机的垂直度。

④水泥浆液拌制：本项目基本配合比为：水灰比为 1.5~1.7；42.5 级普通硅酸水泥掺量为 20%，每立方米水泥掺量为 360 kg。将配制好的水泥浆送入贮浆桶内备用。水泥浆配制好后，停滞时间不超过 2 小时，搭接施工的相邻搅拌桩施工间隔不超过 10 小时。

⑤钻入喷浆搅拌提升：开启灰浆泵，将搅拌好的水泥浆通过注浆泵，经搅拌机头及钻杆钻头出浆口，注入土体后进行搅拌，等注浆进行 30 s 后根据要求向上边搅拌喷

浆边提升钻杆，直至到设计桩顶标高。停止喷浆，调整桩架垂直度后，进行第二次复搅下沉钻杆，重复第一次下钻、喷浆、提升步骤。

⑥清洗、移位：将集料斗中加入适量清水，开启灰浆泵，清洗压浆管道及其它所用机具，然后移位再进行下一根桩的施工。

止水帷幕施工过程中产生的污染物主要是注浆搅拌工序产生的废气及施工产生的噪声。本项目打桩机施工过程钻杆处设置集气罩收集钻孔过程产生的废气，集气罩下设泥浆泵，将泥浆收集至密闭车内，送至异位处置车间处理。钻孔过程产生的废气引入活性炭吸附装置处理后有组织排放。打桩机施工过程废气控制措施示意如图下图所示：

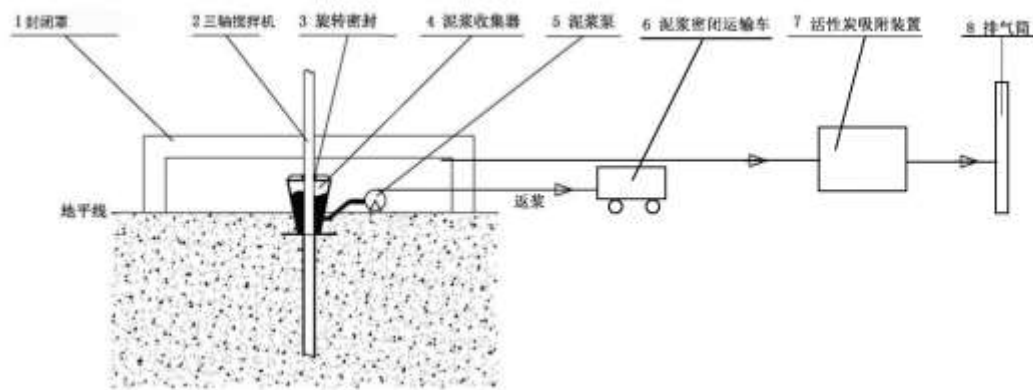


图 5.2-4 打桩机施工过程废气控制措施示意图

2) 地下水监测井施工流程

根据《实施方案》，本项目采用 GeoProbe®钻机中空螺旋钻设井方式设立监测井，中空螺旋钻外径 4.25 英寸，适合建立 1 英寸或 2 英寸监测井（本项目所建地下水监测井井管内径将采用 2 英寸）。

GeoProbe®钻机设井步骤为：

- ①定位，场地表面清理；
- ②钻杆安装并钻进，钻进过程中适时清理并收集溢出的土壤，并适时连接新钻杆，直至达到预期深度；
- ③击落木塞，装入 PVC 筛管及井管（井管内径 2 英寸）；
- ④提升并卸下钻杆，逐渐倒入石英砂至计算量；
- ⑤提升钻杆卸下钻杆，同时倒入膨润土至计算量；
- ⑥监测井设立后为将钻孔时产生的杂质和周围含水层中淤泥洗出，采用贝勒管

进行洗井，以防筛管堵塞和井水浑浊；

⑦做好井标记，制作井保护。

监测井设立后，需要进行洗井，将钻孔过程产生的杂质，和周围含水层中淤泥通过井体洗出，防止筛管的堵塞，和井水浑浊。洗井过程中会产生少量的含泥浆废水W。废水经泵及管道进入厂区内废水池内暂存，后续经厂区内尾水处理系统处理后排入市政污水管网。

5.2.1.4 止水帷幕原理

止水帷幕原理示意图如下：

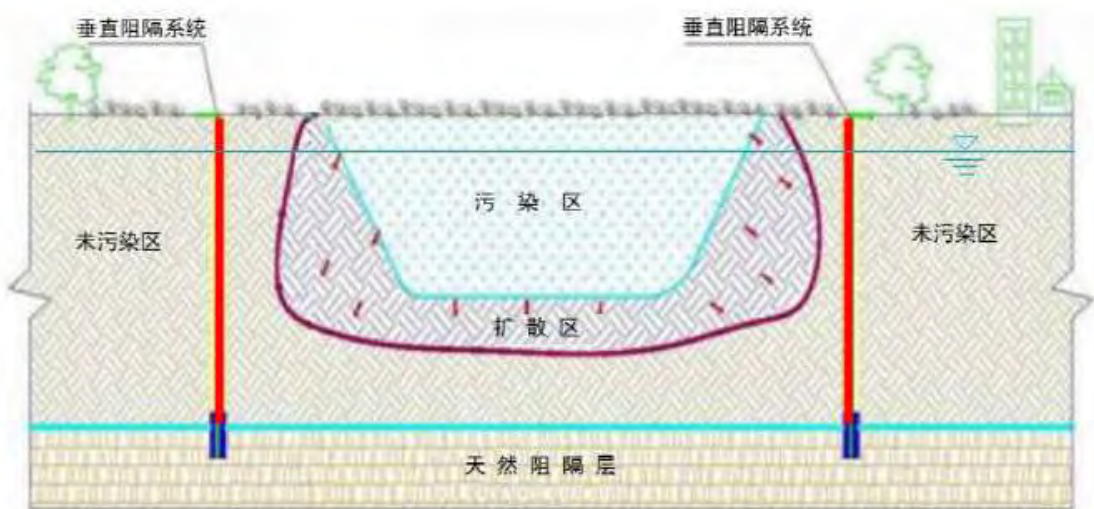


图 5.2-5 止水帷幕原理示意图

5.2.2 原位修复（2020年9月1日-2021年5月8日）

本项目原位修复包括原位热解吸修复、原位化学氧化修复和原位化学还原修复，下面分工艺详细介绍。

5.2.2.1 原位热解吸修复（2020年9月1日-2021年5月8日）

5.2.2.1.1 修复布置图

根据《实施方案》，原位热解吸修复布置图如下图所示：

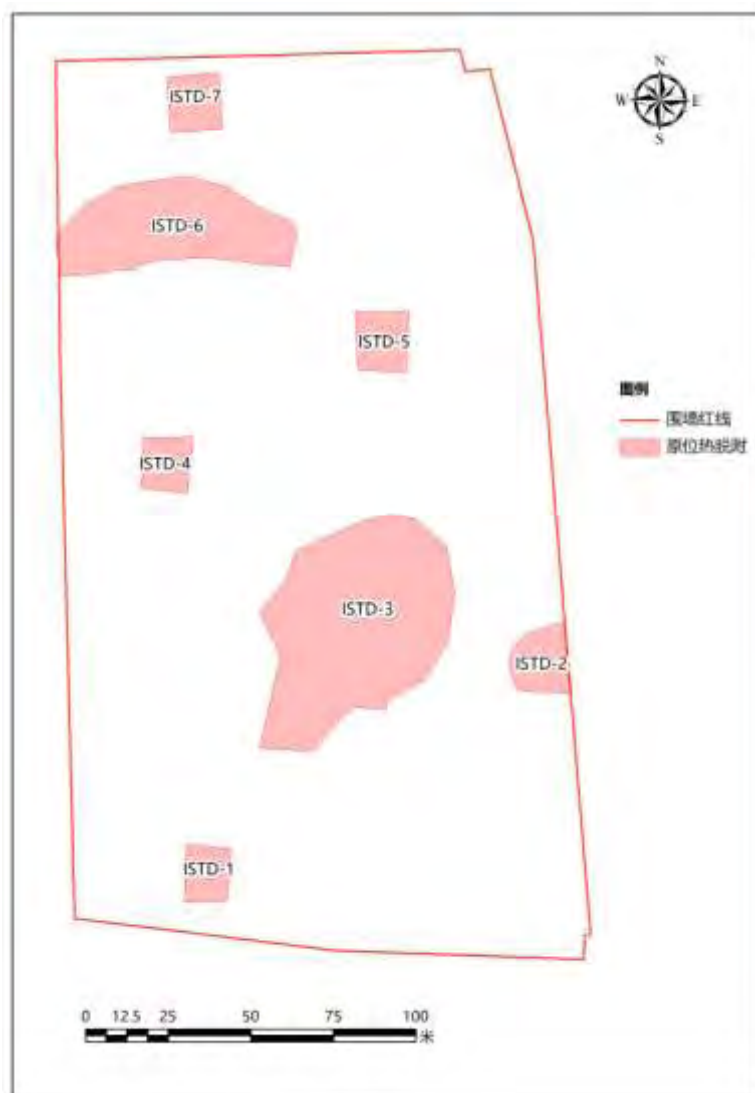


图 5.2-6 原位热解吸修复示意图

5.2.2.1.2 修复工程量

根据《实施方案》，原位热解吸修复工程量如下表所示：

表 5.2-3 土壤及地下水原位热解吸工程量一览表

工艺分区编号	埋深 (m)	修复深度 (m)	修复面积 (m ²)	修复工程量 (m ³)
ISTD-1	2-4	2	219.25	438.50
ISTD-2	2-7	5	306.43	1532.13
ISTD-3	2-14	12	2914.87	34978.45
ISTD-4	3-7	4	238.05	952.22
ISTD-5	3-7	4	278.77	1115.08
ISTD-6	2-10	8	1526.02	12208.19
ISTD-7	3-10	7	266.51	1865.56
合计			5749.9	53090.13

5.2.2.1.3 施工流程

原位热解吸施工包括三个阶段，分别为准备阶段、原位热解吸修复阶段、竣工阶段。原位热解吸施工流程图如下图所示：

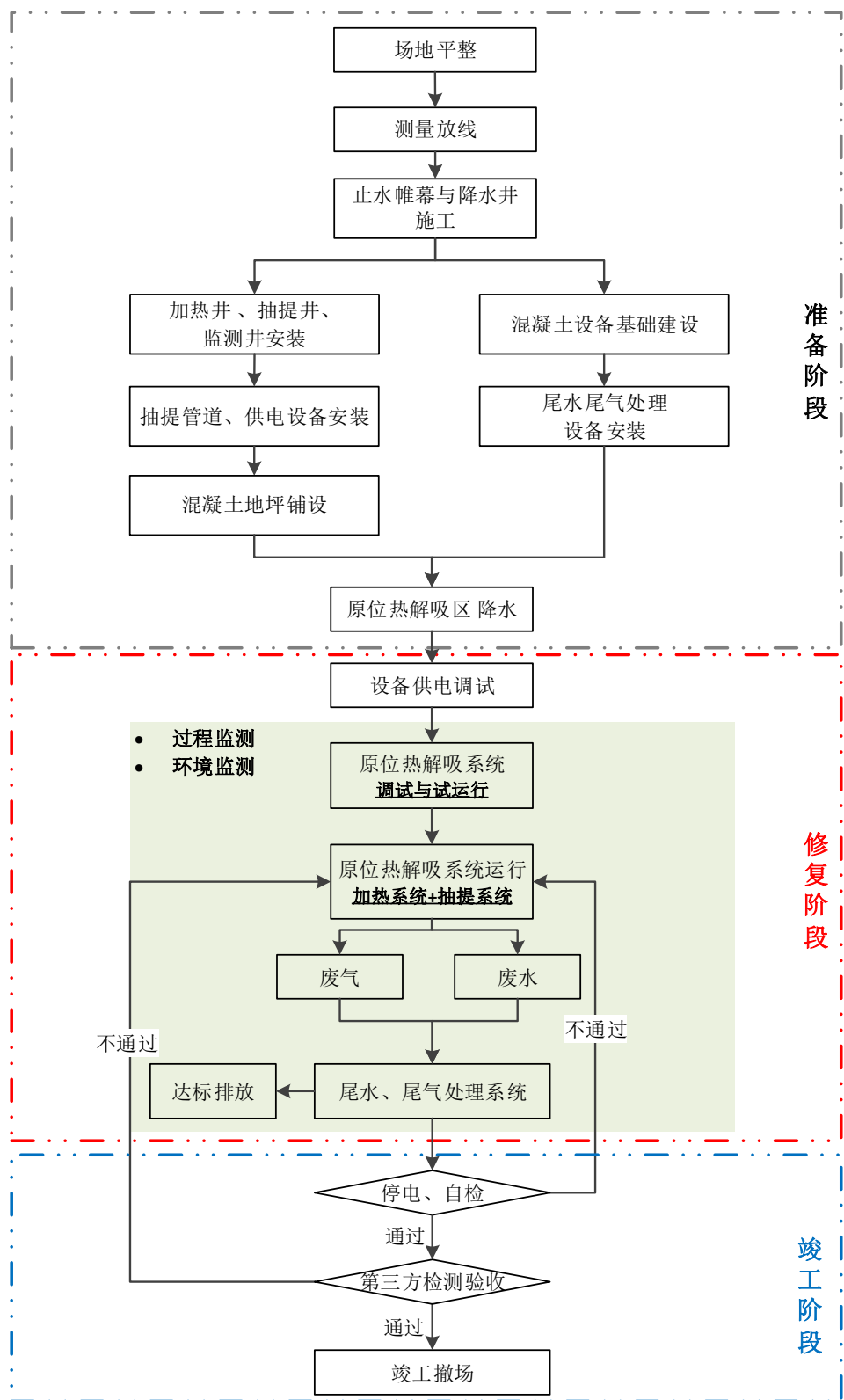


图 5.2-7 原位热解吸（ISTD 工艺）修复流程图

施工工艺流程详述如下：

①准备阶段

准备阶段主要包括测量放线、止水帷幕与降水井建设、原位热解吸区加热及抽提系统安装、尾水尾气处理系统安装等。

a、测量放线

使用专业设备进行测量放线工作，确定拐点位置，划定修复区域。

b、止水帷幕建设

根据《实施方案》，本项目沿加热区外建设三轴搅拌桩止水帷幕，防止外围地下水汇入原位热解吸修复区，确保修复效果。

加热区止水帷幕设在原位热解吸修复区域外 1 m，采用单排 $\phi 850@1200$ 的三轴水泥搅拌桩形式，组间咬合 250 mm，组与组之间咬合 850 mm；止水帷幕深入第 2 层地下水或第 3 层地下水底板至少 1 m，根据场地条件，止水帷幕平均深度为 8m 或 14 m。

本项目止水帷幕平面位置示意图如下：



图 5.2-8 原位热解吸区止水帷幕平面布置示意图

搅拌桩施工顺序采用套打方式，示意图如下：

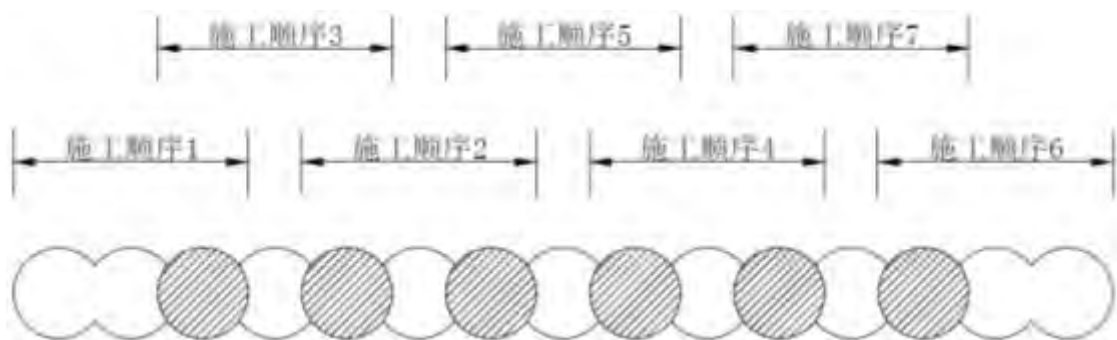


图 5.2-9 单排三层搅拌桩施工顺序

原位热解吸加热区建设止水帷幕的工程量如下表所示：

表 5.2-4 加热区止水帷幕工程量核算表

区块	长度（m）	深度（m）	宽度（m）	工程量（m ³ ）
ISTD-1	67.74	14	0.85	806.11
ISTD-2	76.63			911.90
ISTD-3	225.99			2689.28
ISTD-4	69.92			832.05
ISTD-5	75.04			892.98
ISTD-6	185.46			2206.97
ISTD-7	73.35			872.87
合计	774.13	/	/	10738.06

c、降水井安装

根据《实施方案》，本项目采用大口径井点形式分别对潜水含水层、承压含水层进行降水，两地层降水井深度分别为 8m、14m，降水井均采用不锈钢材质制成。降水井采用均匀布井形式，设置降水井井间距为 15~20m。原位热解吸区降水井平面布置示意图如下：

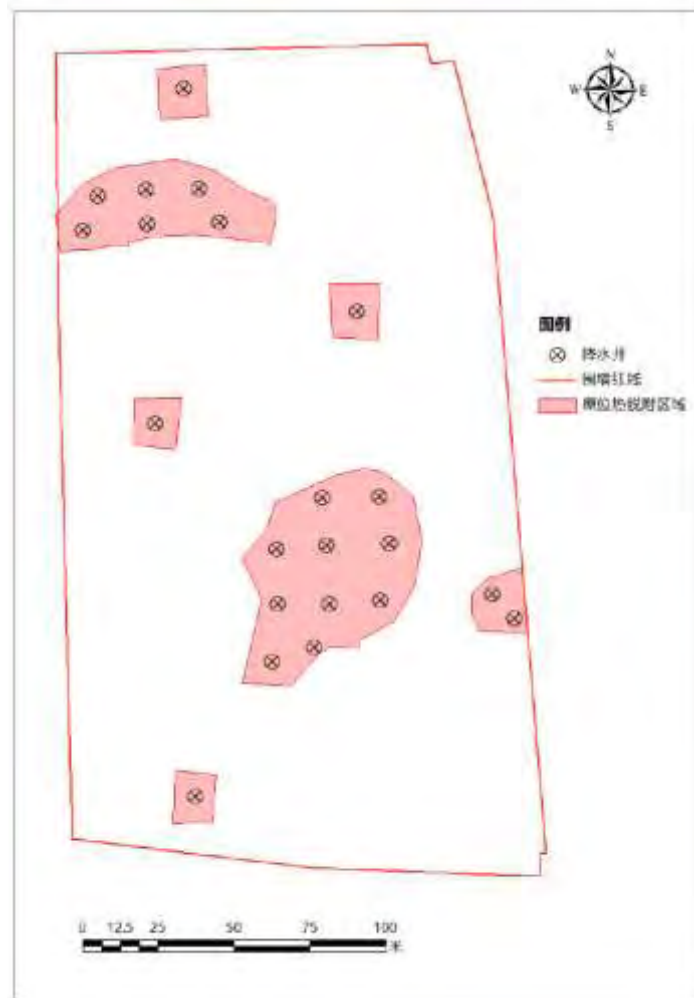


图 5.2-10 原位热解吸区降水井平面布置示意图

降水井安装流程为：井点测量定位→挖井口、安护筒→钻孔机就位→钻孔→回填井底砂垫层→吊放井管→回填井管与孔壁间的砂砾过滤层→洗井。施工要点介绍如下：

（1）钻井

按布设的井位坐标测放井位，采用钢筋做显著标志，对井位处的地面标高进行测量，根据设计井底标高，确定井深。根据天津地区地下地层情况，施工时设置护筒，避免泥浆浸泡、冲刷导致孔口坍塌。采用反循环潜水钻机成井，井径不小于 700 mm，井孔保持圆正垂直，孔深分别大于 13 m、7 m。

（2）换浆

井管下入前注入清水置换，砂石泵抽出沉渣并测定井深。用水泵或捞砂管抽出沉渣，使井内泥浆密度保持在 $1.15\text{--}1.25\text{ g/cm}^3$ 。

（3）吊放井管

井管采用 $\Phi 360$ mm 无砂砾滤水钢管，分节下放，滤水管外包多层土工布及等粒径碎石。井管要高出地面不小于 675 mm，并加盖临时保护。

(4) 填滤料

井管下入后立即填入细石或中粗砂滤料。滤料沿井孔四周均匀填入，宜保持连续，将泥浆挤出井孔。填滤料时，应随填随测滤料填入高度，当填入量与理论计算量不一致时，及时查找原因。不得用装载机直接填料，应用铁锹下料，以防不均匀或冲击井壁。洗井后，如滤料下沉量过大，应补填至井口下 2 m 处，其上用粘土封填。滤料必须符合级配要求，合格率要大于 90%，杂质含量不大于 3%。

(5) 洗井

成井后，借助空压机清除孔内泥浆，至井内完全出清水止，再用污水泵反复进行恢复性抽洗，抽洗次数不得少于 6 次。洗井应在成井 4 小时内进行，以免时间过长，护壁泥皮逐渐老化难以破坏，影响渗水效果。

d、加热区降水

为保原位热解吸区热传导效果，在加热前应对加热区降水。加热前 4~8 天开始降水，不得提前降水。

加热区降水流程为：井管内下设水泵、安装抽水、控制电路→试抽水→降水井正常工作→降水管理。

(1) 水泵安装

潜水泵用钢丝绳吊放。安装并接通电源，铺设电缆和电闸箱，做到单井单控电源，并安装时间水位继电自动抽水装置和漏电保护系统。深井内安设潜水电泵，可用绳吊入滤水层部位，带吸水钢管的应用吊车放入，上部与井管口固定。设置深井泵的电动机座应安设平稳，转向严禁逆转（设有逆止阀），防止转动轴解体。潜水电机、电缆及接头必须有可靠的绝缘，每台泵配置一个控制开关。主电源线路沿深井排水管路设置。安装完毕应进行试抽水，满足要求后始转入正常工作。

(2) 试抽水

洗井后可进行试验性抽水，确定单井出水量及水位降低能否满足设计要求。抽出来的水暂存在膜蓄水袋内，待尾气尾水系统安装后经管道泵入尾水处理系统进行处理，处理后的废水经管道排至市政污水管网。

(3) 降水井正常工作

开始抽水时，因出水量大，为防止排水管网排水能力不足，可有间隔的逐一启动

水泵。抽水开始后，应逐一检查单井出水量、出砂量。当出砂量过大，可将水泵上提，如出砂量仍然较大，应重新洗井或停泵补井。

加热前抽出的污染地下水暂存膜蓄水袋内，再泵送至尾水处理设备的尾水处理单元处理。水位观测抽水前应进行静止水位的观测，抽水初期每天早晚 7 点观测 2 次，抽水完成后每天观测 1 次，如发现有通过越流等途径进入加热区的地下水，则重新启动潜水泵进行降排水，抽出的污染地下水暂存在水袋内，再泵送至尾水处理系统处置，经尾水处理系统处理合格后，经总排口排至市政污水管网。

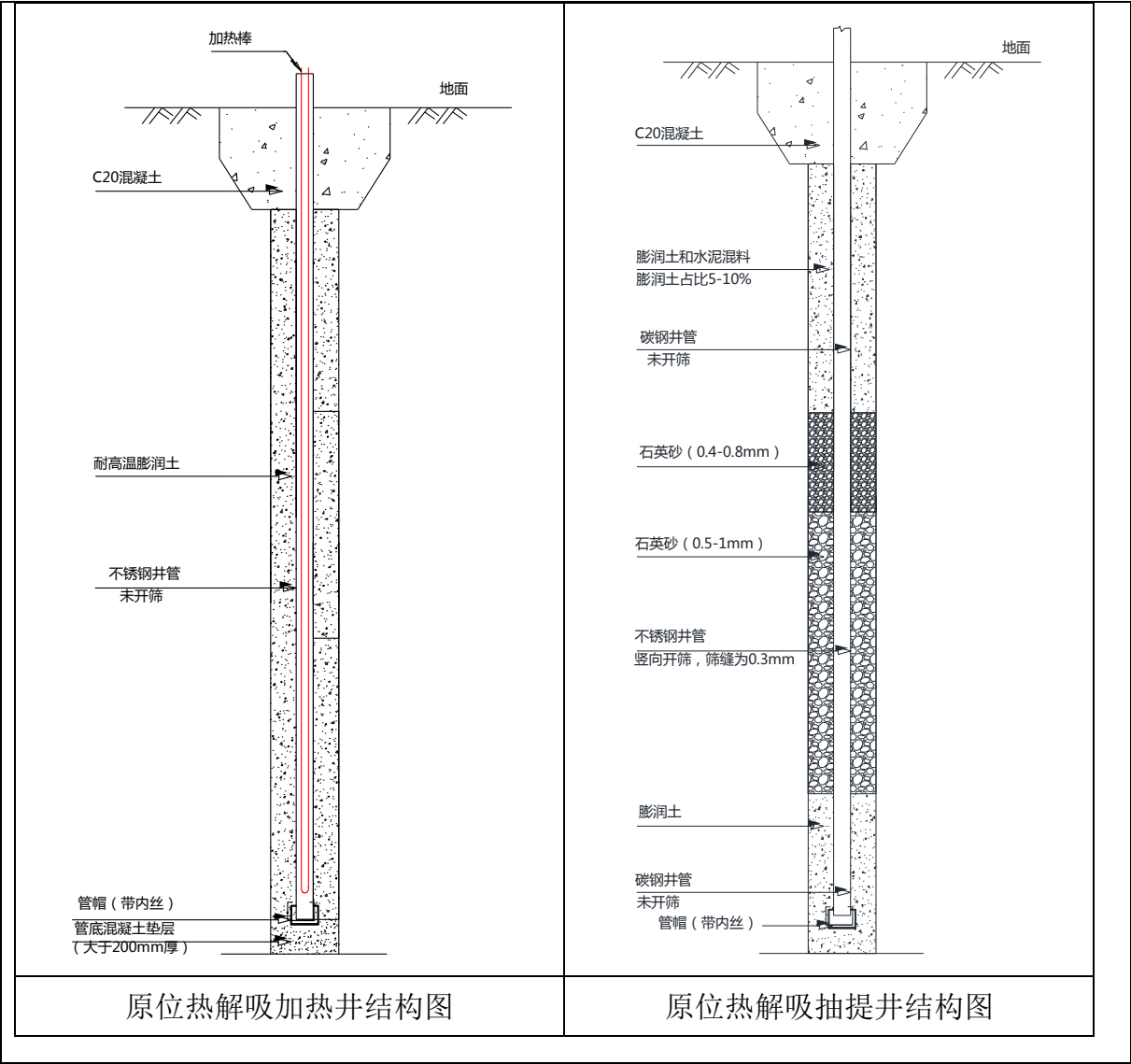
e、原位热解吸系统安装

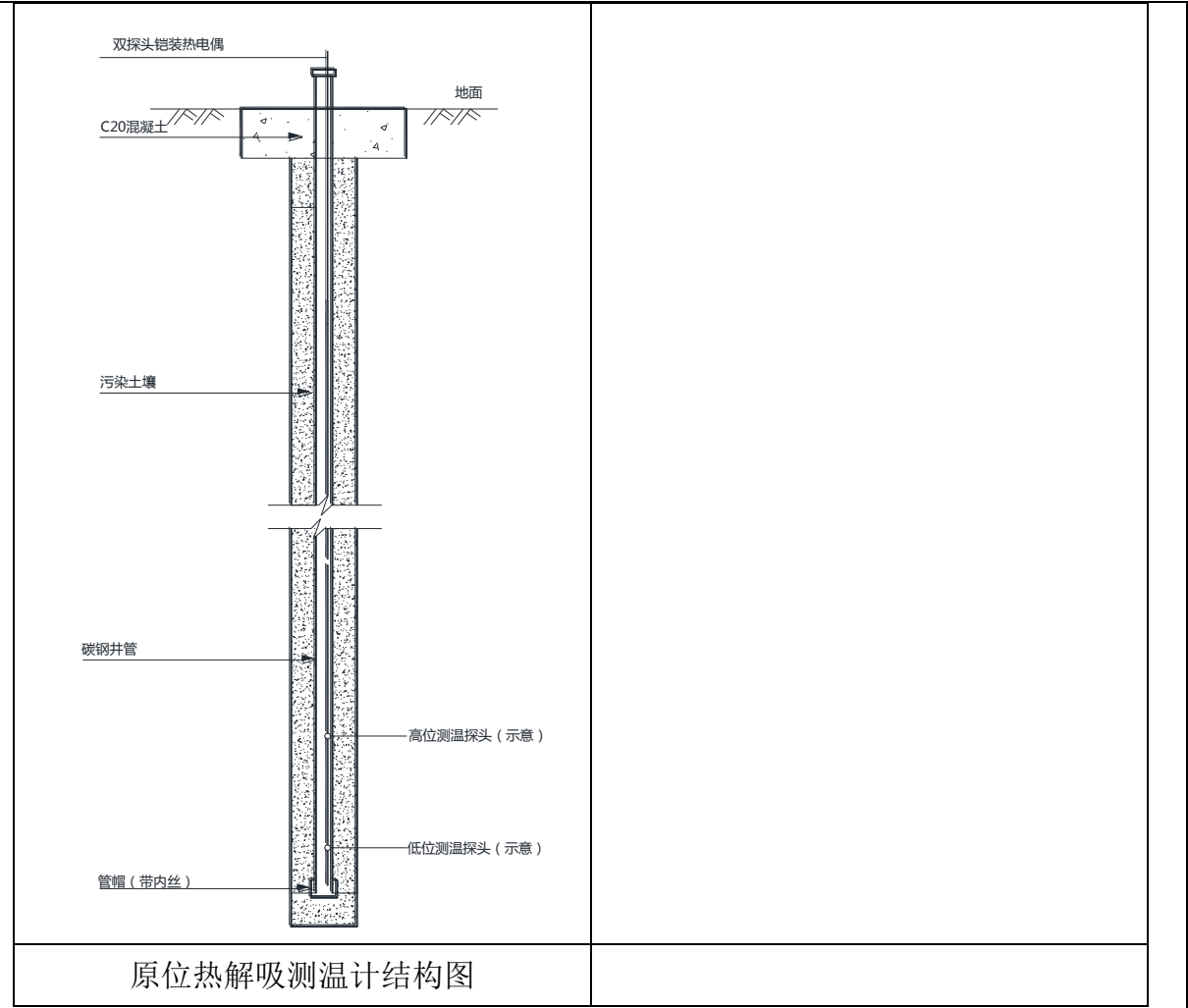
原位热解吸系统包括两部分，分别为加热及抽提系统、尾水尾气处理系统，两者的安装可同时进行。

(1) 加热抽提系统安装

I、加热井及抽提井安装

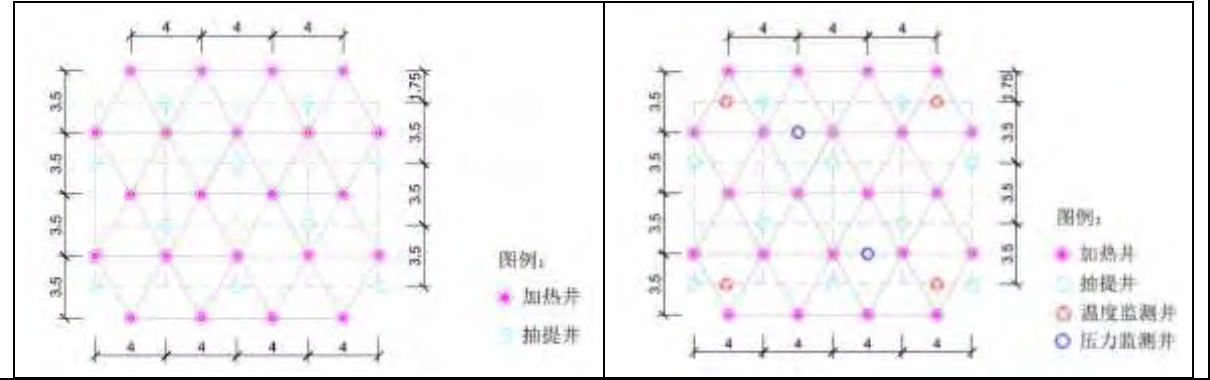
加热井、抽提井和测温井建设需钻探成孔，钻孔最小直径为 125 mm。其均为 14 m，其中土壤与地下水复合污染区域钻探需钻穿第 2 层含水层，钻探时采用套管钻探，防止第 2 层、第 3 层含水层之间的交叉污染。加热管和抽提管采用不锈钢材质，为保证管道完全密封，在管道相应区域填充石英砂或同类型不透水产品。施工过程中，在管道开槽部分的外部，为保证管道透气性，填充砾石或过滤砂。测温井核心部件为热电偶，布设深度要求与加热井布设深度一致。加热井、抽提井、测温井和压力井结构图见下图。





根据《实施方案》，本项目加热井为正三角形布孔，抽提井均匀分布在加热井周围，加热井与抽提井数量比约为 2:1，加热井之间的间距为 4.0m，抽提井之间的间距约为 8m。在施工定位过程中，纵向和横向两端的点位用全站仪进行测放，用白灰连接起来，中间点位采用钢尺测量，选取部分点位用全站仪进行复核。原位热解吸加热施工时，应随时监测周围土体的温度、尾气尾水系统中有机气体的含量，以便于加热系统的良好运行及施工安全。

加热井和抽提井、温度监测井及压力监测井的布设方式如下图所示：



原位解吸区加热井及抽提井分布见下图：

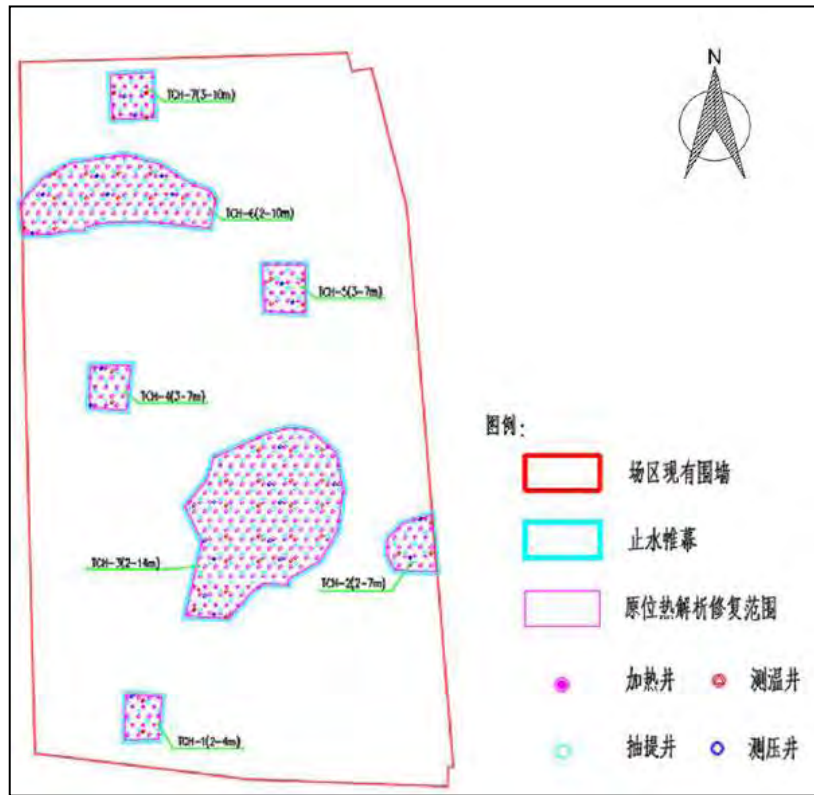


图 5.2-11 原位热解吸区加热井及抽提井分布图

加热抽提系统参数设计如下：

根据《实施方案》，加热深度应覆盖目标污染区，加热管顶端加热区高于污染区顶板 1m，顶端加热区低于污染区底板 1m。抽提井、测温井深度应与加热段温度一致，确保加热去的污染气体被迅速收集、处置。加热井、抽提井概念模型如下图所示：

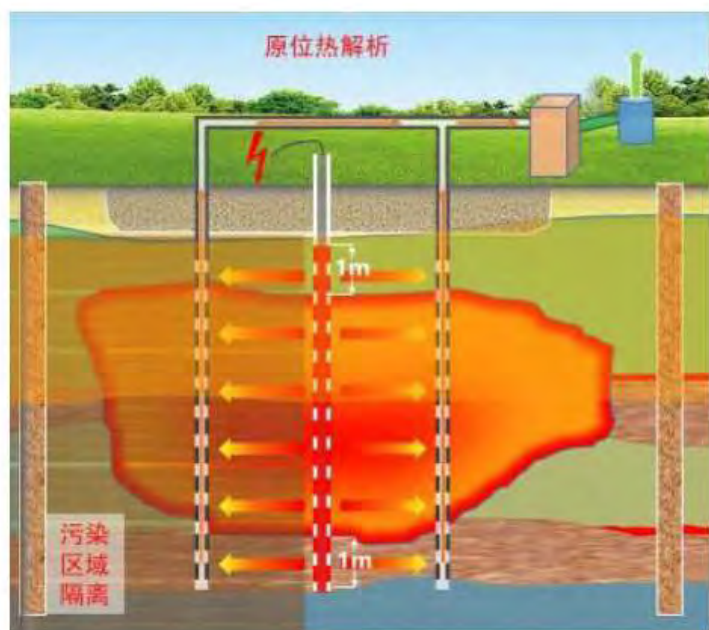


图 5.2-12 加热井、抽提井深度设计概念模型

原位热解吸工艺加热区的加热井、抽提井设计深度进行统计，如下表所示：

表 5.2-5 原位热解吸加热井及抽提井设计参数一览表

修复分区	污染物类型	污染深度 (m)	加热/抽提/测温井深度 (m)	目标温度 (℃)
ISTD-1	卤代烃苯系物	2-4	1-5	90-120
ISTD-2		2-7	1-8	
ISTD-3		2-14	1-15	
ISTD-4		3-7	2-8	
ISTD-5		3-7	2-8	
ISTD-6		2-10	1-11	
ISTD-7		3-10	2-11	

注：本参数为初步设计，实际布设以现场补充调查后现场实际施工情况为准。

加热井及抽提井建设需钻探成孔，钻孔最小直径为125 mm，其中土壤与地下水复合污染区域钻探需钻穿第2层含水层，钻探时采用套管钻探，防止第2 层、第3 层含水层之间的交叉污染。加热管和抽提管采用不锈钢材质制成，为保证管道完全密封，在管道相应区域填充石英砂或者同类型不透水产品；同时为保证加热温度，在地表铺设轻质混凝土保温层，加热井的核心部件为加热棒，结构组成还包括不锈钢内衬管和碳钢外套管，加热井底部应与加热棒底部保持一定的设计距离。测温井核心部件为热电偶，布设深度要求与加热井布设深度一致。

II、地面抽提系统安装

加热井、抽提井安装完成后，开始连接地面抽提管道和电缆。在抽提井口设置开

关阀，以便能实现土壤气体的采样，每个抽提井将会由金属软管连接到主抽提管道，所有抽提井、金属软管和主管道组成了整个抽提网系统。



图 5.2-13 加热与抽提系统照片

III、地表“污染阻隔”与保温层施工

为避免污染气体从地下逸散至地表，以及较少地下加热系统的损失，加热井和抽提井安装完成后，在地表铺设“双重保险”的“污染阻隔”与保温层。铺设 200mm 厚粗砂层厚，采用轻质混凝土+C20 混凝土填缝覆盖，厚度为 200mm、坍落度应保证为 180 ± 20 mm。施工时，该污染阻隔与保温层应覆盖加热区及其以外 1-3m 范围。

f、尾气尾水处理系统安装施工

根据《实施方案》，原位热解吸修复区配套设置 2 套尾气尾水处理系统（一用一备）。在安装尾气尾水处理系统前，需对地面进行处理，即铺设 20cm 厚的混凝土地面。本项目尾气处理系统为三级串联活性炭吸附装置，处理后的废气经一根 15m 高的排气筒 P3 排放。尾水处理系统为：调节池-隔油池-混凝沉淀-芬顿氧化-砂滤-活性炭吸附，处理后的尾水经检测合格后，由总排口排至市政污水管网。

g、加热与抽提系统运行

系统调试完成后，开始系统的正式运行，系统运行过程包括三个阶段：升温阶段、恒温阶段和降温阶段。

升温阶段指开始加热至加热区温度上升至设定温度的阶段。该阶段需要按照预设的升温速率（暂按 $1\sim 2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ ）进行持续加热。

恒温阶段指温度持续稳定在设定温度的阶段。该阶段需要根据各个温度监测井的

监测数据，阶段性对加热井进行供电加热，以保证温度的恒定。

降温阶段指停止供电，系统温度从设定温度冷却至环境温度的阶段。该阶段抽提系统持续运行，保证尾气尾水的正常处理，以防对周边环境造成二次污染。

对各个阶段工作说明如下：

（1）试运行

管线、泵、配电系统、尾水尾气处理设备、电气仪表系统等均进行安装并进行调试。单体调试无误后，进行试运行。试运行正常运转10 天后，可正式运行。

（2）加热及抽提

采用清洁能源电能对污染区土壤进行加热。加热2~3 天后，可以开始启动真空泵和尾气治理系统，开始抽提和尾气治理。

整套系统的运行将由电脑来控制 and 监测。3 个加热井为一组，由独立的加热控制器、温度控制器（PLC 控制系统）来控制 and 监测。操作人员将在整个运行过程中进行实时监控并对加热系统进行调整，平衡加热功率和抽提流量、压力，并监视、调整后续处理设备的运行以保持系统最佳工况。整套系统持续运转。设备将由操作人员日常巡视、检查。日常检查包括检查整个区域的支管、所有接头、压力、温度、二次密封系统以及所有加热和尾气处理设备的运行工况。

（3）监测及数据传输

本项目建立一套监测体系来对温度和压力以及其它必要的运行参数进行监测。

土壤的温度测点位于冷点位置，对冷点定时监测，以确保整个修复区域的整体加热。同时在加热棒、抽提井出口中均设置温度测点，用以对加热井、抽提井等设备进行调节。压力监测点将测量和监控地面下的压力状况，以保证地面以下处于负压状态，避免土壤中挥发出来的污染气体逃逸到大气中。冷点位于三个加热井组成的三角形的中心位置，热量通过传导方式从加热井传出，这样，温度在不同的地点以不同的速度升高。靠近加热井的温度升高最快，而三口井之间的冷点位置则升温最慢。系统运行时间是由冷点位置达到目标温度及保持该温度所需的时间决定的。当冷点温度达到目标温度时，修复区域内大部分土壤已在目标温度下加热了更长的时间，可以确保修复效果。冷点位置示意图如下图所示：

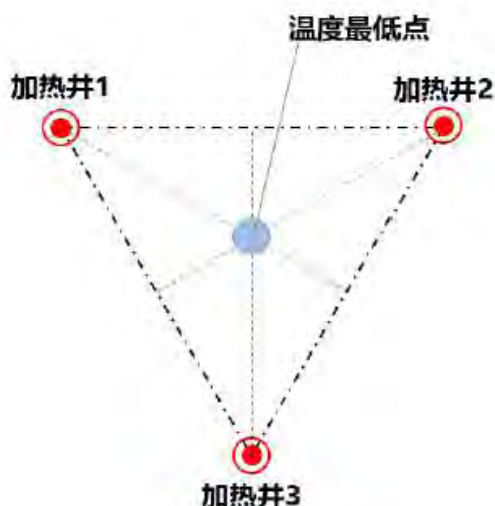


图5.2-14 冷点位置示意图

土壤温度利用温度监测井中的K 型感温线进行测量。管道和设备上的温度则利用热电偶来测量。土壤温度数据、管道和设备上的温度数据均可传输到笔记本电脑上，可在远程监控治理过程。

(4) 保持温度及冷却

目标温度达到后，保持数天，然后取样检测。如果不达标，继续加热过程，如果达标，停止系统，关闭电源。抽取和处理系统在冷却期间继续抽取和处理气体使得土壤被动降温。在此阶段中，尾气系统和地下的温度压力监测仍然继续进行。加热过程中加热天数与土壤温度的变化如下图所示。

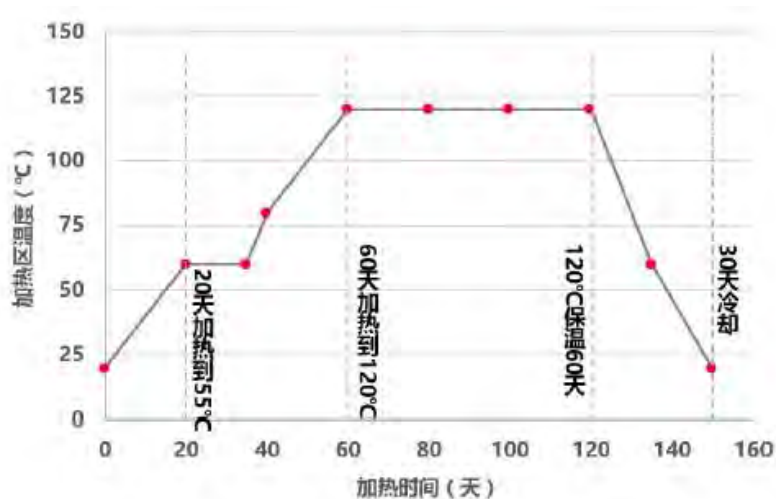


图5.2-15 原位热解吸运行天数与土壤温度曲线图

(5) 拆除

加热系统及抽提系统全部停止后，首先停止系统供电，随后拆除地面管道。在冷

却几天后，加热井管道被移出。

h、尾气尾水处理系统运行

本场地原位热解吸工艺共配备尾水尾气系统2套，分两批次加热（ISTD-3 为一批次，ISTD-1~ISTD-2、ISTD-4~ISTD-7为第二个加热批次）。每套尾水尾气系统按单个加热区抽提井可能出现的最大抽提浓度、每批次最大抽提气量设计。考虑到场地条件（地质条件、污染物性质）的复杂性，保守起见，两个加热区错峰加热，一旦尾气负荷超过设计能力，立即启动另一台尾水尾气处理设备。错峰加热示意图如下图所示：



图5.2-16 错峰加热示意图

5.2.2.1.4 原位热解吸修复工艺简介

原位热解吸是由垂直（或倾斜）阵列排列的加热棒直接对污染区域进行加热，促使污染区域的挥发性、半挥发性和不挥发性有机污染物挥发，同时伴随负压作用，使挥发出来的有机污染物被抽提至地面进行处理。根据《实施方案》，本项目原位热解吸加热温度定为 90-120℃。本项目原位热解吸系统示意图如下所示：

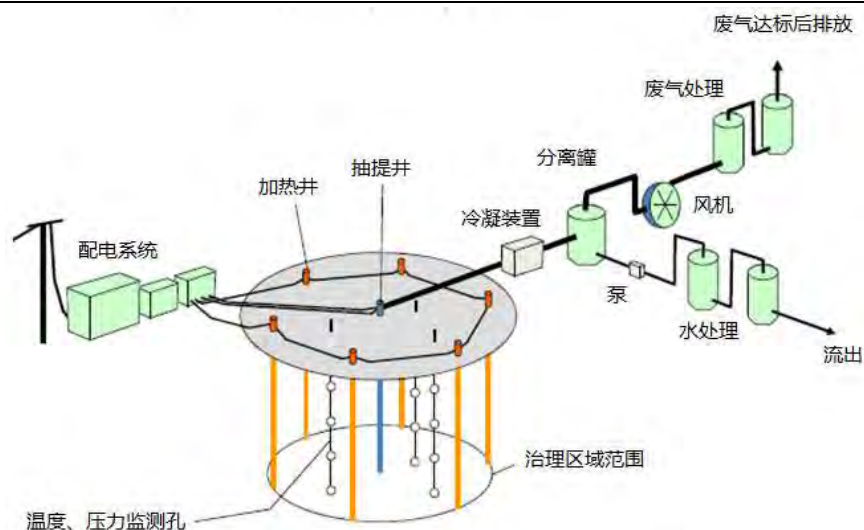


图 5.2-17 原位热解吸系统示意图

本项目原位热解吸工艺流程图如下所示：

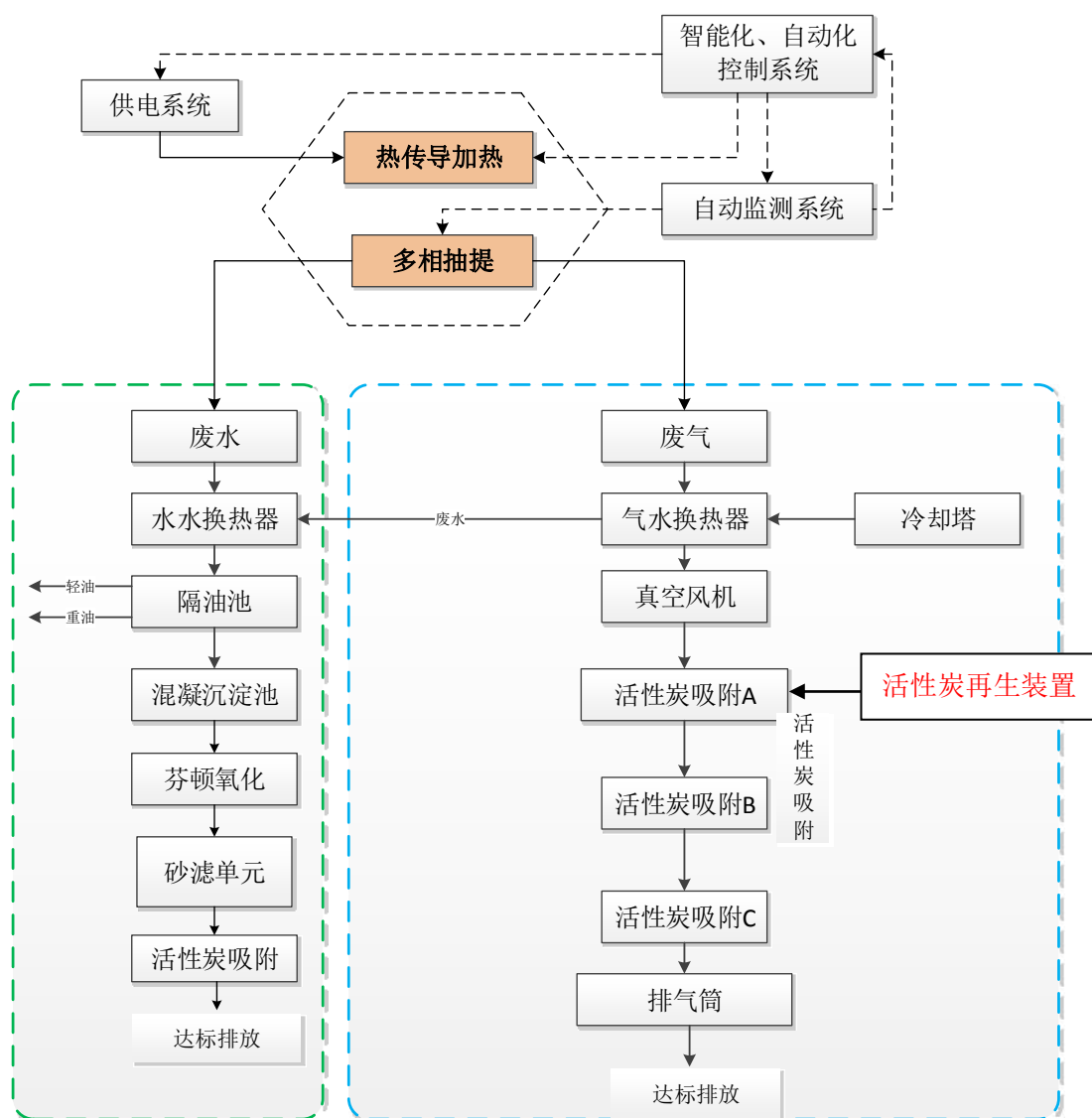


图 5.2-18 原位热解吸工艺流程图

原位热解吸工艺主要包括加热系统、尾气尾水处理系统、智能化自动化控制系统等。对该工艺的流程说明如下：

①通过电力系统供电对加热区的加热棒进行加热，通过热力传导，将加热区的土壤加热到目标温度（本项目加热目标温度为 90-120℃）。加热区设置温度监测点，对加热区温度进行实时监测，动态更新三维温度分布模型，并通过智能化、自动化控制系统对加热区局部加热棒加热功率进行调整。

②抽提井为负压环境，抽提加热产生的高温污染气体。高温污染气体经多相分离器分成气相和液相，气相进入尾气处理系统进行处理，液相进入尾水处理系统进行处理。

③本项目尾气处理系统处理工艺为：高温尾气先经过气水换热器进行换热冷凝处理，使尾气温度降至 50℃左右（伴随产生冷凝液进入尾水处理单元），经过换热处理后的尾气再通过 LEL 可燃气体检测仪和真空风机，风机尾气连接三级串联活性炭吸附单元（分别为活性炭吸附 A、活性炭吸附 B、活性炭吸附 C）进行处理，净化后的尾气经一根 15m 高的排气筒 P₂ 排放。

为了降低废活性炭产生量，本项目活性炭吸附装置 A 配套设置一个活性炭吸附/脱附再生装置。

活性炭吸附/脱附再生装置的原理如下：

①吸附：有机废气进入活性炭吸附装置 A，由于活性炭固体表面上存在着未平衡和未饱和的分子引力，当此固体表面与气体接触时，就能吸引气体分子，使其浓聚并保持在固体表面，污染物质从而被吸附，未吸附的气体排出活性炭吸附装置 A，进入活性炭吸附装置 B 和 C，进一步使废气得到净化。

②脱附：活性炭吸附装置 A 吸附饱和后，需要将活性炭吸附装置 A 上吸附的物质进行脱附，从而使吸附剂得到再生。本项目通过送入热氮气进行吸附床层吹脱，将有机物自吸附剂中解吸，使活性炭吸附装置 A 中的活性炭恢复其活性，即再生。本项目氮气外购，氮气通过电加热得到热氮气（温度 180℃-200℃）。脱附出的高浓度气体进入冷凝器冷凝回收。通过一定时间的热氮气脱附，吸附剂内部的有机物基本挥发出来，从而达到脱附再生的目的。系统脱附温度约 160℃。

③冷凝：冷凝体系工作介质为循环冷却水，循环冷却水由冷却塔提供。循环冷却水经冷凝器处理后，循环冷却水系统温度约 4℃。脱附回收产生的有机气体进入冷凝器回路，利用低温使有机废气冷凝变成液态，同时还可能有极少量的冷凝水产生，冷

凝出来的废液为危险废物，密闭包装后暂存于危废间。未冷凝的废气返回活性炭吸附装置 A，不外排。

本项目“吸附+氮气再生”系统分为两组并联运行，一组吸附，另一组通过加热高温氮气进行脱附再生，然后经冷凝系统降温至 4℃ 左右，将高浓度有机物冷凝为液体进入溶剂回收罐，通过冷凝液外排泵排出系统。冷凝液作为危废进行处置。

“吸附+氮气再生”系统工作示意图如下图所示：

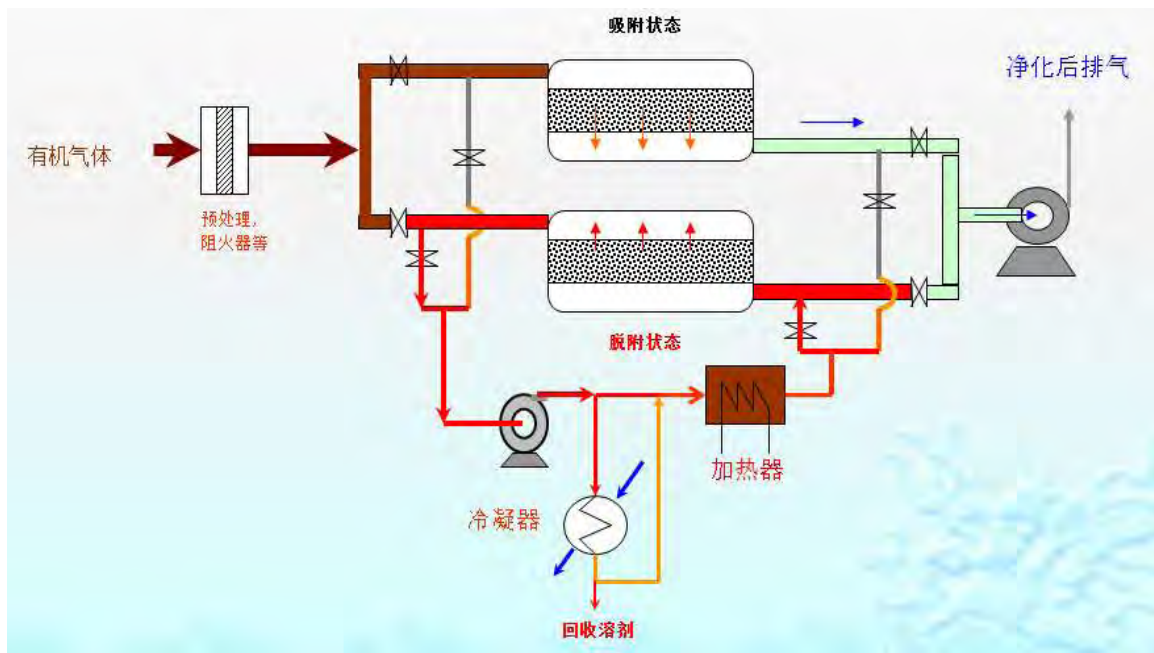


图 5.2-19 “吸附+氮气再生”系统工作示意图

根据施工单位提供的资料，本项目“吸附+氮气再生”系统的两组并联运行，即第一组活性炭吸附装置吸附量达到吸附总量的 70%-80%时，切换至第二组活性炭进行吸附，第一组活性炭即进行脱附再生。经活性炭吸附装置 A 处理后的废气进入活性炭吸附装置 B 和 C 再次吸附处理，处理后的尾气经一根 15m 高的排气筒 P₂ 排放。

④本项目尾水处理单元主要包括水水换热器、隔油池、混凝沉淀单元、砂滤单元、芬顿氧化单元、活性炭吸附单元等。抽提井抽出的尾水及尾气部分冷凝下来的冷凝水经水水换热器进行热交换，降温后的废水再通过隔油池将液相中密度大于和小于水的油类物质除去收集，然后通过混凝沉淀后进入芬顿氧化单元，芬顿氧化单元的出水进入砂滤罐，砂滤罐出水最后进入活性炭吸附罐单元进行吸附，处理达标的废水进行达标排放。



图 5.2-20 尾气尾水处理系统图

本项目原位热解吸修复过程中产生的污染物包括设备运转噪声，打井布管、设备安装过程中产生的扬尘、异味，土壤和地下水联合修复过程中产生的废气、废水，以及废气处理装置产生的废活性炭、废冷凝液等。

5.2.2.2 原位化学氧化修复（2020 年 9 月 1 日~2021 年 2 月 12 日）

5.2.2.2.1 修复布置图

根据《实施方案》，场地内轻度地下水污染区采用原位化学氧化工艺进行修复，修复布置图如下图所示：

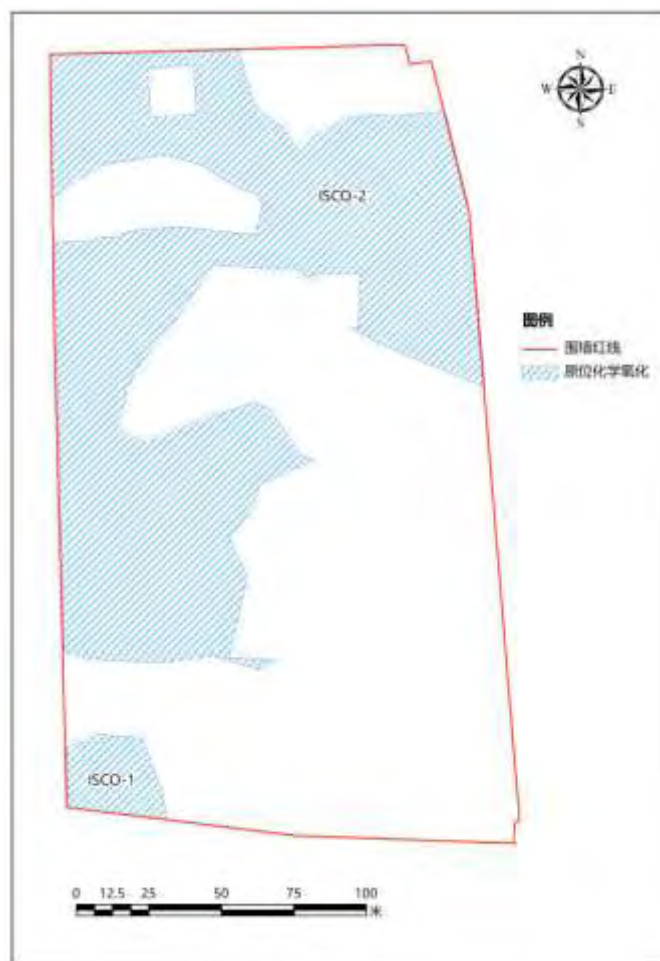


图 5.2-20 原位化学氧化施工区平面图

5.2.2.2.2 修复工程量

根据《实施方案》，原位化学氧化工程量如下表所示：

表 5.2-7 原位化学氧化工程量一览表

工艺分区编号	埋深 (m)	修复深度 (m)	面积 (m ²)	修复工程量 (m ³)
ISCO-1	3-7	4	784.82	3139.29
ISCO-2	3-7	4	15685.24	62740.96
合计			16470.06	65880.25

注：土壤容重按照 1900kg/ m³ 计算。

5.2.2.2.3 施工流程

根据《实施方案》，主要施工步骤包括场地准备、设备准备、药剂准备和高压旋喷施工等。原位化学氧化修复施工流程如下图所示。

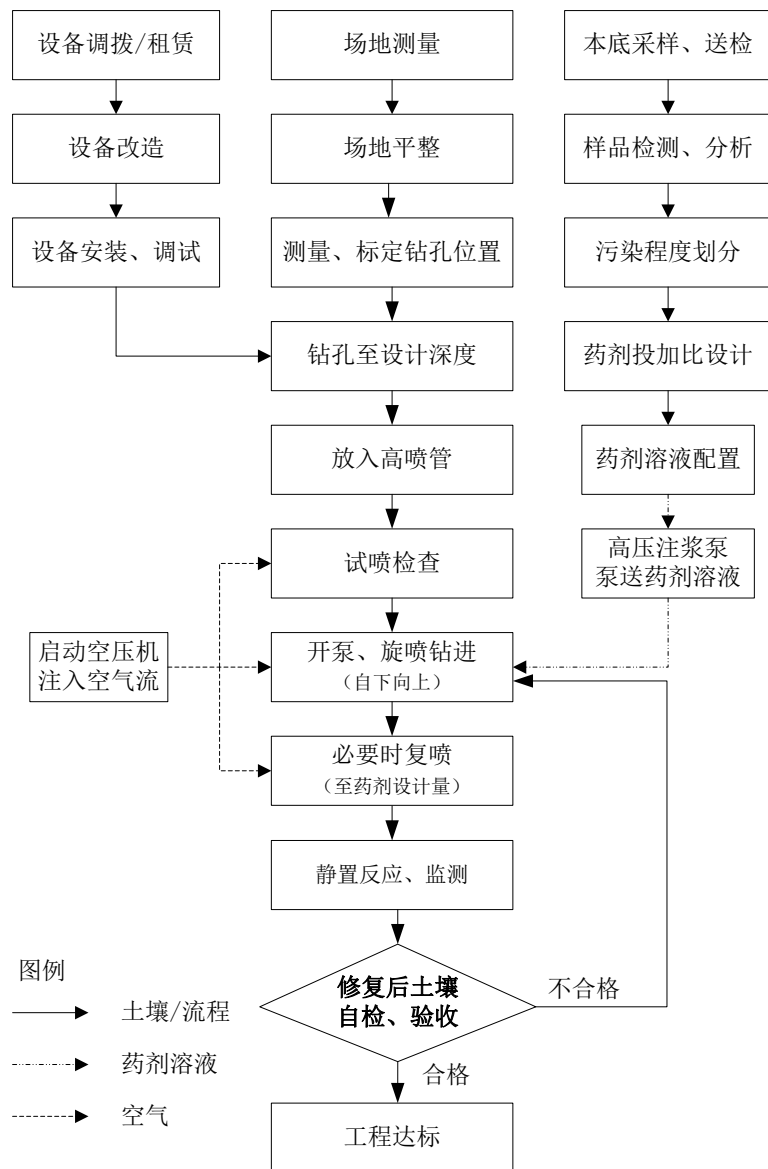


图 5.2-21 原位化学氧化修复施工流程图

整个原位化学氧化修复区分为 4 个小区块，根据本场场地下水流向，原位化学氧化的施工顺序为西南往东北方向，ISCO-1 → ISCO-2。



图 5.2-22 原位化学氧化施工顺序示意图

施工工艺流程详述如下：

①场地准备

场地准备主要是对拟施工区域进行测量，圈定施工范围；将施工区进行平整，便于后续设备进出场和移动；根据施工方案，标定钻孔位置等。

②设备准备

本次修复所需设备主要为引钻孔机、高压旋喷钻机、空气压缩机、高压注浆泵等。

③药剂准备

本项目修复工艺主要是将氧化药剂（过硫酸盐）和活化剂（液碱）的混合溶液注入到地下水（第二层含水层）中，因此需设置药剂配置区。

药剂配置区地面进行硬化，浇筑25cm的C25混凝土。药剂配制时，固体药剂通过汽车运输至场地内配药平台，人工将药剂投加在药剂罐内进行配置，通过气动搅拌系统将药剂搅拌均匀。根据污染物浓度、类型、过硫酸盐的氧化效果等确定修复过程中

的药剂量、氧化药剂浓度、添加比例等关键参数。配液平台不贮存药剂，当天配置，当天使用。本项目共设置6套配药站，每套可同时配制3m³药剂，可实现连续注射施工。

④高压旋喷施工

1) 施工点位布设

待上述准备工作均完成后，开始旋喷施工，首先是用引孔钻机进行钻孔，布设的钻孔点位用小旗子标记，一点一签，保证钻孔中心移位偏差小于 50 mm。并撒白灰标识，确保机械准确定位。本项目钻孔布设数量为 637 个。钻孔完成后，放入高喷管。原位注入布孔示意图如下所示：

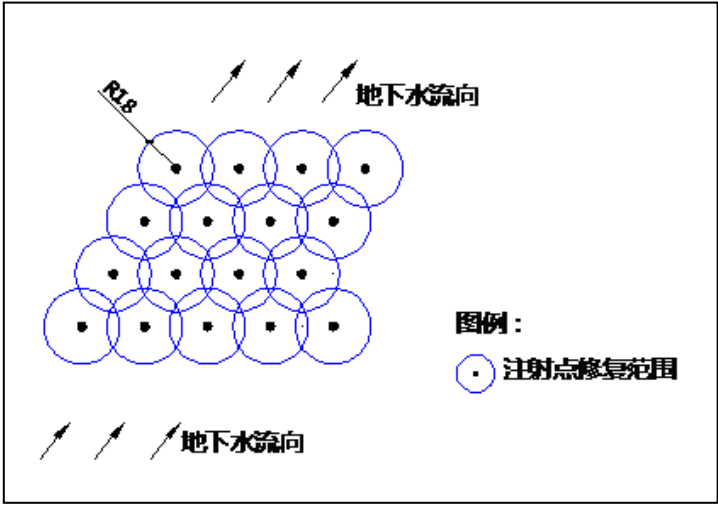


图 5.2-23 原位高压旋喷布孔示意图（三角形法）

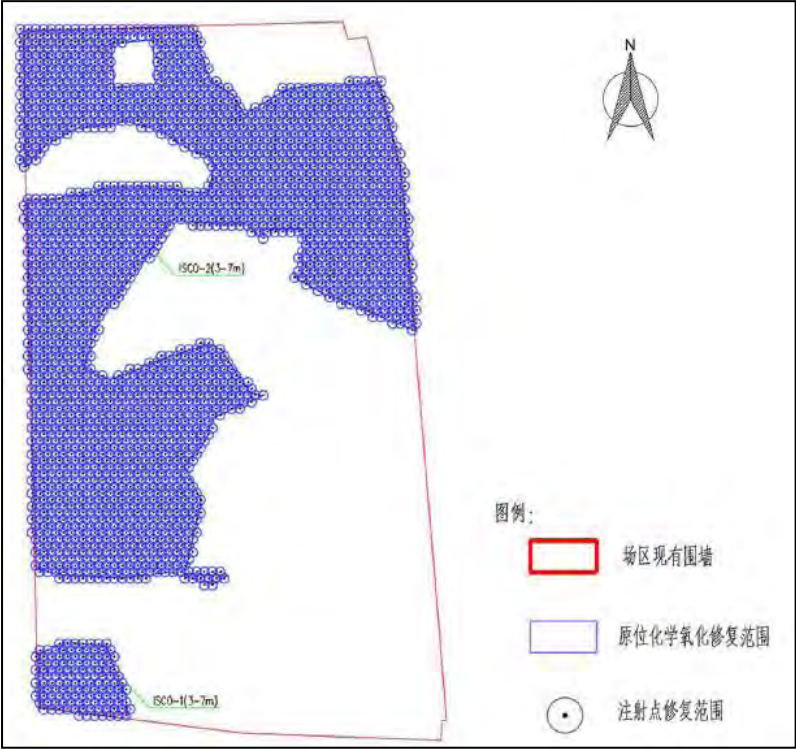


图 5.2-24 原位化学氧化注射点布置图

2) 引孔施工

考虑场地可能存在一定厚度的杂填土、表层大面积水泥硬化地面或基础等，先于高压注射前进行引孔施工。移动钻机时，需按照先水平后竖直移动的原则进行。移动过程由专人指挥，用水平尺和定位测锤校准桩机，使桩机水平，导向架和钻杆应与地面垂直，倾斜率小于1.5%。对不符和垂直度要求的钻杆进行调整，直到钻杆的垂直度达到要求。为了保证桩位准确，必须使用定位卡，桩位对中误差不大于5 cm。

3) 钻机移位

试喷完成后，将钻机移至施工区域，进行区域施工。

4) 钻孔

钻机施工前，应首先在地面进行空气喷射，检查高压设备和管路系统，设备的压力和排量必须满足设计要求。各部位密封圈必须良好，各通道和喷嘴内不得有杂物等。在钻孔机械试运转正常后，开始引孔钻进。该过程需3-5 min。

5) 药剂注射作业

当高压旋喷钻杆钻进至设计深度后，接通注浆泵，然后由下向上一边提升钻杆，一边喷射药剂。喷射时，应先达到预定的喷射压力后再逐渐提升钻杆。一般当喷嘴下沉到设计深度时，在原位置旋转10 s 左右，待孔口冒浆正常后喷射压力即符合要求。钻杆的旋转和提升应连续进行，不得中断。中间发生故障时，应停止提升和旋喷，以防桩体中断，同时立即检查排除故障，重新开始喷射注浆的孔段与前段搭接不小于1 m。在旋喷提升过程中，可根据不同的土层，调整旋喷参数。旋喷作业系统的各项工艺参数都必须按照预先设定的要求加以控制，并随时做好关于旋喷时间、用浆量，冒浆情况、压力变化等的记录。

6) 冲洗

旋喷提升到设计标高时停止旋喷，提升钻头出孔口，清洗注浆泵及输送管道，通常把浆液换成水，在地面上喷射，以便把注浆管、软管内的浆液全部排除。

7) 钻机移位

清洗完成后，将钻机移至下一施工点位，已修复的场地及时进行覆盖，以控制无组织废气的排放。重复以上操作，进行施工。

8) 药剂反应

现场注射施工修复完成后，停止施工，使药剂与污染物充分反应2~3个月，将污染物破坏去除。

9) 采样验收

药剂反应完全后（过硫酸盐氧化剂反应1 个月开始自检，现场可根据实际情况加密监测频率，地下水区域充分反应需要2~3 个月），采用钻机采集土壤样品，检测分析其中污染物浓度。如污染物浓度低于修复目标值，即土壤修复合格；如果土壤中污染物浓度仍高于修复目标值，则需要再次进行修复。

高压旋喷施工过程中产生的污染物主要是高压旋喷钻机施工产生的废气及施工产生的噪声。本项目高压旋喷钻机施工过程钻杆处设置集气罩收集钻孔过程产生的废气，集气罩下设泥浆泵，将泥浆收集至密闭车内，送至异位处置车间处理。高压旋喷施工过程产生的废气引入活性炭吸附装置处理后有组织排放。高压旋喷施工过程废气控制措施示意如下图所示：

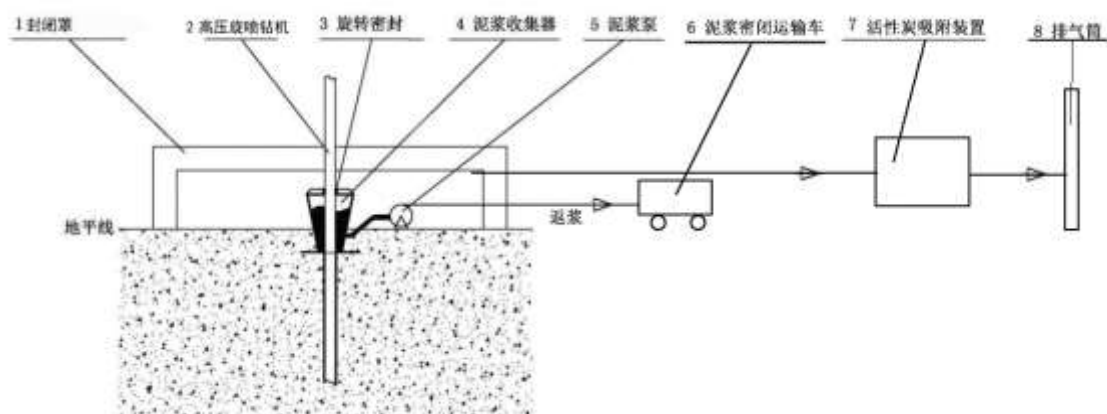


图 5.2-25 高压旋喷施工过程废气控制措施示意图

5.2.2.2.4原位化学氧化工艺简介

原位化学氧化修复技术是指将强氧化剂（如过硫酸盐等）添加到污染土壤/地下水中，当氧化剂接触到污染物时，污染物被化学分解（氧化）成毒性更小的产物或无毒的产物（如二氧化碳、水、或无机盐等）。

a、药剂配置

氧化药剂选用碱活化过硫酸盐。根据场地的地下水污染物浓度、有机质含量、过硫酸盐的氧化效果和地下水中的停留时间，以及注射井的影响半径，确定整个修复区整体药剂剂量、氧化剂浓度、添加比例、添加批次等关键参数，通过计量泵注入注射井中。本项目粉末袋装药剂采用车辆运输至现场药剂投加箱附件进行现场配置。

药剂配置区地面进行硬化，浇筑25cm厚的C25混凝土。药剂配制时，用叉车将氧化药剂（过硫酸盐）和活化剂（液碱）运输至药剂配制区，用称量称量出需要的药品

量，人工投入药剂桶。本项目共设置6套配药站，每套可同时配制3m³药剂，可实现连续注射施工。

b、药剂注射

配置好的药剂通过隔膜泵输入注射总管，注射总管通过分水器连接各注射井，按照设计的批次注射量注入足够的药剂。根据原位化学氧化中试结果，确定本场地地下水污染的氧化药剂投加比例约为 0.8-1.2%（氧化药剂：活化药剂=1:1.3）。

药剂在高压下通过注射泵和空压机被注入含水层中，因压力较大，药剂与土壤的混合浆液会随空气上涌。根据施工方案，涌浆产生量约占修复药剂注射总量的 3~10%。对涌浆中的过硫酸盐进行检测，若残留依然很高，进行统一回收。若过硫酸盐残留不高，则暂存至膜蓄水袋，泵送至尾水处理系统进行处理。

高压旋喷注浆技术原理如下图所示：

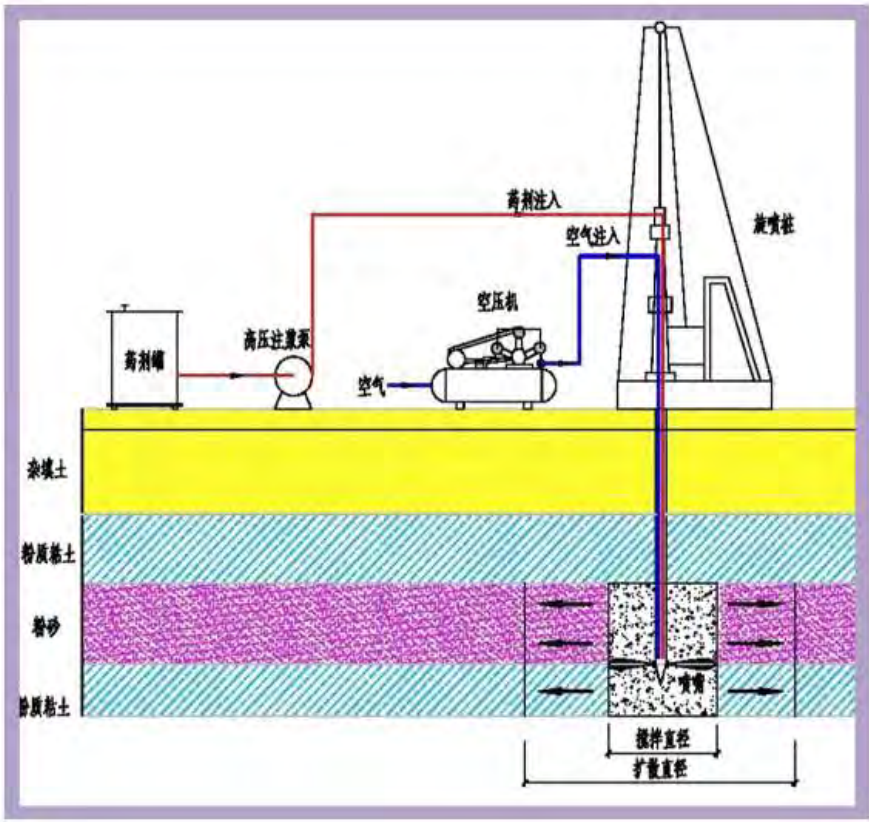


图 5.2-26 高压旋喷注浆技术原理图

本项目高压旋喷机械施工技术参数如下表所示：

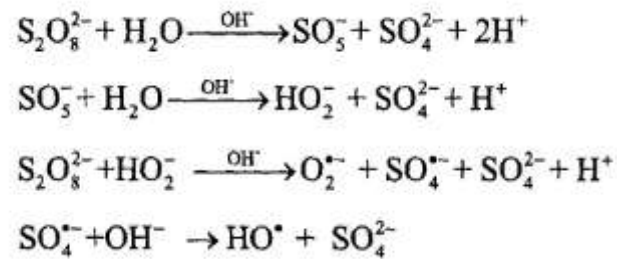
表 5.2-8 高压旋喷机械施工技术参数一览表

施工参数	技术要求	备注或说明
注射压力	25-30 MPa	根据地层调整，施工至地表附近降低压力，保证施工安全

气泵压力	0.7 MPa 左右	未旋喷下钻过程，压力保持在 0.3-0.4 MPa 即可
提升速度	20-30 cm/min	根据药剂投加比调整
注浆速度	20-120 L/min	根据药剂投加比及配置浓度调整
钻孔偏差	小于 5 cm	由于障碍物钻孔偏离较大幅度，需详细记录
垂直度	不大于 1.5%	肉眼观察不得倾斜，特别是深度区域施工（0-12 m）保证垂直度的要求
最佳药剂扩散半径	1.8m	根据原位化学氧化中试试验结果确定，实际施工过程中可根据实际情况进行微调

过硫酸盐氧化机理如下：

过硫酸盐在水中电离产生过硫酸根离子 $S_2O_8^{2-}$ ，其标准氧化还原电位为 $E^0=+2.0V$ （相对于标准氢电极），接近于臭氧（ $E^0=+2.07V$ ），其分子中含有过氧基 $-O-O-$ ，是一类氧化性较强的氧化剂。在催化条件下， $S_2O_8^{2-}$ 可活化分解为 $SO_4^{\cdot-}$ ， $SO_4^{\cdot-}$ 中含有一个孤对电子，其标准氧化还原电位 $E^0=+2.60V$ ，远高于 $S_2O_8^{2-}=+2.01V$ ，接近于羟基自由基（ $E^0=+2.80V$ ），从而对有机污染物有很强的降解能力。常用活化剂包括高热、碱、 Fe^{2+} 和 H_2O_2 等，通过活化过硫酸根离子，产生氧化能力更强的自由基离子可以氧化更多更难降解的有机污染物。相比其他的活化方法，采用液碱作为活化方法更经济、持续、安全、有效。本修复工程原位化学氧化工艺拟采用液碱作为活化剂。反应机理如下式：



本项目地下水污染物主要为卤代烃，根据相关文献，过硫酸钠氧化剂理论上能最终将氯代物矿化生成无机盐及 CO_2 、 H_2O 。（参考文献：方国东，过硫酸钠高级氧化多氯联苯的机质与应用研究；中国科学院大学博士论文，2013.等）。

活化过硫酸盐药剂氧化性强，适用范围广，可处理众多难降解化合物；化学氧化作用持续时间长，可持续约2个月，尤其对地下水修复效果显著；对土质影响小，硫酸根离子能够与钙离子、钡离子等形成稳定的沉淀，因此可以使用钙盐对土壤修复过程中产生的硫酸根进行控制，使其生成硫酸盐沉淀从而以稳定态沉积在土壤中。美国的过硫酸盐应用场地表明，过硫酸盐应用后，其浓度会恢复到原来的水平。

c、药剂反应监测

现场注射施工修复完成后，停止施工30 天，使药剂与污染物充分反应2~3个月，将污染物破坏去除。

d、采样验收

药剂反应完全后（过硫酸盐氧化剂反应1 个月开始自检，现场可根据实际情况加密监测频率,地下水区域充分反应需要2~3 个月），采用钻机采集土壤样品，检测分其中污染物浓度。如污染物浓度低于修复目标值，即土壤修复合格；如果土壤中污染物浓度仍高于修复目标值，则需要再次进行修复。

原位化学氧化修复过程中的污染物包括设备运转噪声、打井布管、设备安装过程中产生的扬尘、异味、旋喷过程产生的冒浆等。

5.2.2.3 原位化学还原修复（2020 年 9 月 1 日~2021 年 2 月 12 日）

5.2.2.3.1 修复布置图

根据《实施方案》，本场地地下水中度污染区采用原位化学还原工艺进行修复，修复布置图如下图所示：



图 5.2-27 原位化学还原施工区平面图

5.2.2.3.2 修复工程量

根据《实施方案》，原位化学还原修复工程量如下表所示：

表 5.2-9 原位化学还原工程量一览表

工艺分区编号	埋深 (m)	修复深度 (m)	面积 (m ²)	工程量 (m ³)
ISCR	3-7	4	5275.78	21103.11
合计			5275.78	21103.11

注：土壤容重按照 1.9 t/m³ 计算。

5.2.2.3.3 施工工艺介绍

根据《实施方案》，主要施工步骤包括场地准备、设备准备、药剂准备和高压旋喷施工等。原位化学还原修复施工流程如下图所示。

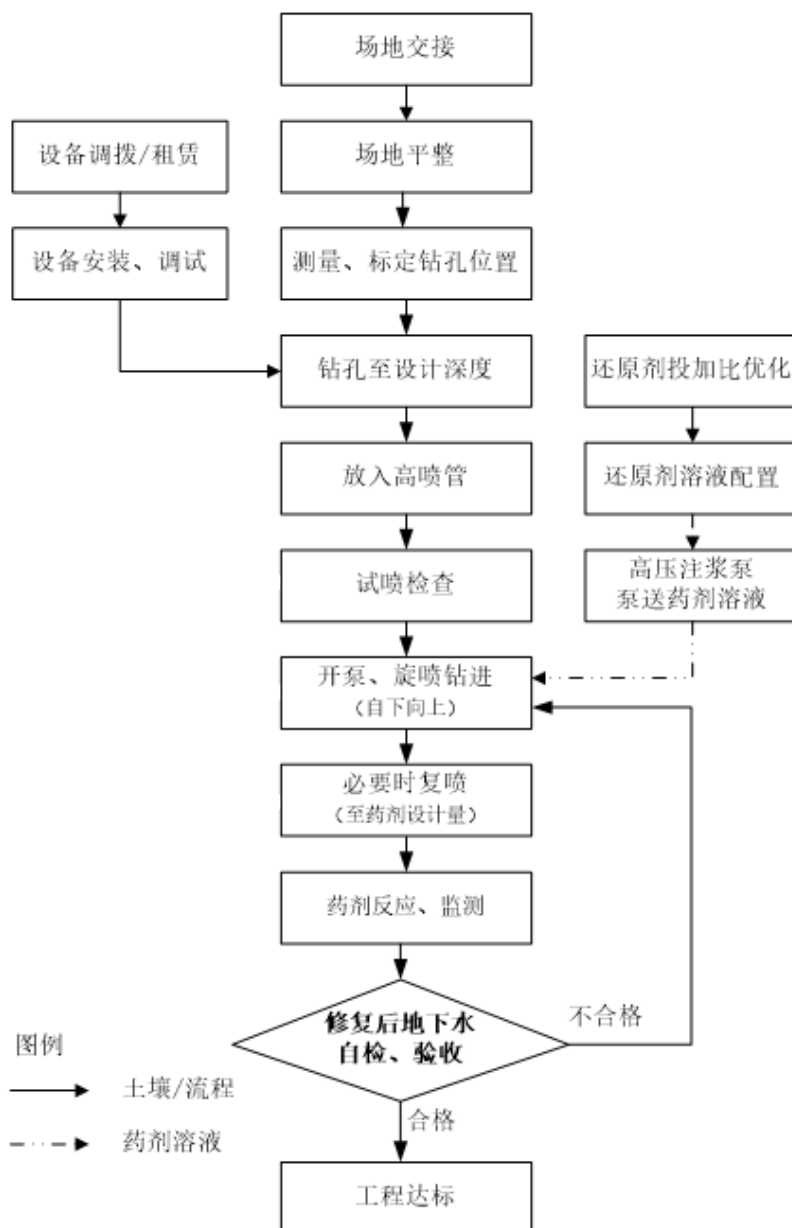


图 5.2-28 原位化学还原修复流程图

原位化学还原工艺施工流程与原位化学氧化施工工艺相同，此处不重复介绍。原

位化学还原注射点布置图如下图所示：



图 5.2-29 原位化学还原注射点布置图

高压旋喷施工过程中产生的污染物主要是高压旋喷钻机施工产生的废气及施工产生的噪声。本项目高压旋喷钻机施工过程钻杆处设置集气罩收集钻孔过程产生的废气，集气罩下设泥浆泵，将泥浆收集至密闭车内，送至异位处置车间处理。高压旋喷施工过程产生的废气引入活性炭吸附装置处理后有组织排放。高压旋喷施工过程废气控制措施示意如下图所示：

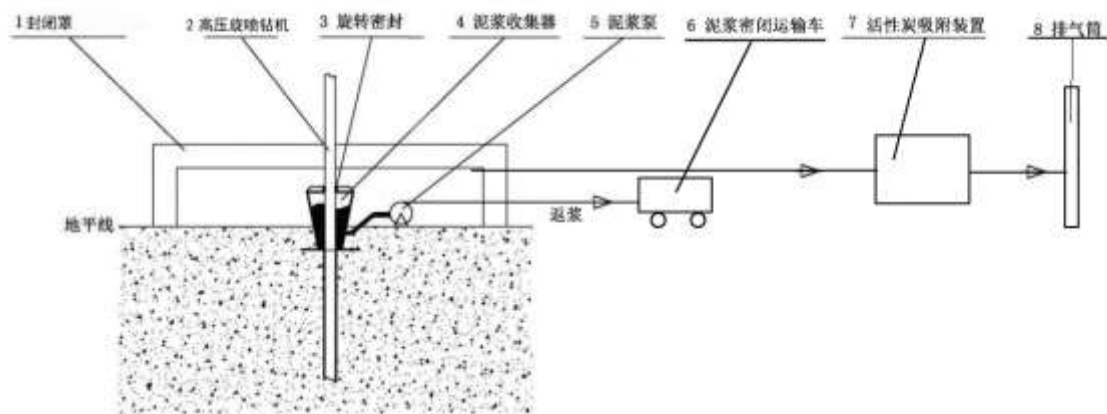


图 5.2-30 高压旋喷施工过程废气控制措施示意图

5.2.2.3.4 原位化学还原工艺简介

本项目原位化学还原药剂主要由控释固态碳和零价铁等组成，注入地下水后，发生一系列化学、物理及生物过程，会使得污染区域产生非常强的还原性环境，从而刺

激对有机溶剂和难降解有机物的还原脱氯作用。

a、药剂配置

本项目还原药剂主要成分为零价铁-生物碳复合物。根据场地的地下水污染物浓度、有机质含量、过硫酸盐的氧化效果和地下水中的停留时间，以及注射井的影响半径，确定整个修复区整体药剂剂量、氧化剂浓度、添加比例、添加批次等关键参数，通过计量泵注入注射井中。本项目粉末袋装药剂采用车辆运输至现场药剂投加箱进行现场配置。

b、药剂注射

配置好的药剂通过隔膜泵输入注射总管，注射总管通过分水器连接各注射井，按照设计的批次注射量注入足够的药剂，根据原位化学氧化中试结果，确定本场地地下水污染的药剂投加比例约为 0.4%。

药剂在高压下通过注射泵和空压机被注入含水层中。本项目高压旋喷注浆技术原理与原位化学氧化高压旋喷注浆技术一致，此处不再赘述。本项目高压旋喷机械施工技术参数如下表所示：

表 5.2-10 高压旋喷机械施工技术参数一览表

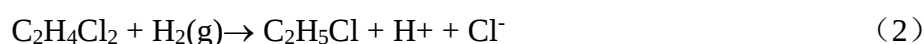
施工参数	技术要求	备注或说明
注射压力	25-30 MPa	根据地层调整，施工至地表附近降低压力，保证施工安全
提升速度	20-30 cm/min	根据药剂投加比调整
注浆速度	20-120 L/min	根据药剂投加比及配置浓度调整
钻孔偏差	小于 5 cm	由于障碍物钻孔偏离较大幅度，需详细记录
垂直度	不大于 1.5%	肉眼观察不得倾斜，特别是深度区域施工（0-12 m）保证垂直度的要求
最佳药剂扩散半径	1.8m	根据原位化学还原中试试验结果确定，实际施工过程中可根据实际情况进行微调

还原剂具体反应机理如下：

药剂注入地下含水层中后，土著微生物将药剂中的缓释碳发酵降解，并且释放出挥发性脂肪酸（VFAs，包括乙酸，丙酸，酪酸等），这些挥发性脂肪酸会随着地下水扩散，作为脱卤菌和卤素呼吸菌等菌类的电子供体，为脱卤降解反应提供电子。这个反应过程会消耗地下水中的氧化性物质。地下水中的溶氧是微生物的最适电子受体。地下水中溶解氧含量降低后，兼氧细菌和厌氧细菌会依次利用硝酸盐、三价铁、硫酸盐和二氧化碳作为电子受体。每个反应过程都会降低地下水中的氧化还原电位，直至

形成可发生还原脱氯反应的环境。土壤中的含氯有机物作为电子受体，主要通过两个途径进行还原脱氯：氢解反应（Hydrogenolysis）、β-消除反应（β-elimination）。

氢解反应是指化合物中的一个氯原子被氢原子置换，一般一步反应只置换一个氯原子。此外，还有一种有 H_2 参加的直接催化氢解反应，该反应需要催化剂的存在，如 Fe_3O_4 。以二氯乙烷为例：



β-消除反应是相邻碳原子上的一个氢原子和一个氯原子或者两个氯原子被脱除。



通过氢解反应和 β 消除反应，二氯乙烷逐步被还原为低氯或无氯的中间产物，然后通过加氢反应（hydrogenation），最终生成乙烯和乙烷并被土壤微生物降解成二氧化碳和水。

c、药剂反应监测

施工结束后，在理想反应状态下，药剂反应时间为 4~6 个月，药剂反应过程检测 pH 及药剂残留。

d、采样验收

药剂反应完全后，采用钻机采集土壤样品，检测分析其中污染物浓度。如污染物浓度低于修复目标值，即土壤修复合格；如果土壤中污染物浓度仍高于修复目标值，则需要再次进行修复。

上述修复过程中的污染物包括设备运转噪声、打井布管、设备安装过程中产生的扬尘、异味等。

5.3 第三阶段原地异位解吸修复（2021 年 4 月 27 日~2021 年 7 月 5 日）

5.3.1 修复布置图

原地异位解吸修复区布置图如下图所示：



图 5.3-1 原地异位解吸布置图

5.3.2 工程量

原地异位解吸修复工程量如下表所示：

表 5.3-1 原地异位解吸修复工程量统计

工艺分区编号	埋深（m）	修复深度（m）	修复面积（m²）	修复工程量（m³）
NTD-1	0~2	2	2413.09	4826.18
NTD-2			306.47	612.94
NTD-3			1000.71	2001.42
NTD-4			219.39	438.78
NTD-5			231.97	463.94
NTD-6			183.47	366.94
NTD-7			204.69	409.38
合计			4559.79	9119.58

5.3.3 工艺流程图

污染土壤原地异位解吸修复施工流程图如下图所示：

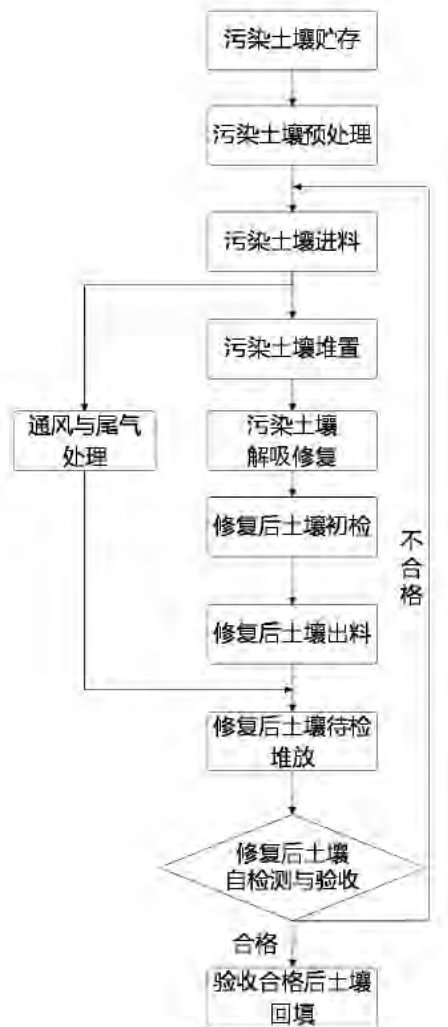


图 5.3-2 原地异位解吸施工流程图

下面分步骤详细介绍原地异位解吸施工流程图。

5.3.3.1 污染土壤清挖

污染土壤清挖流程如下图所示：

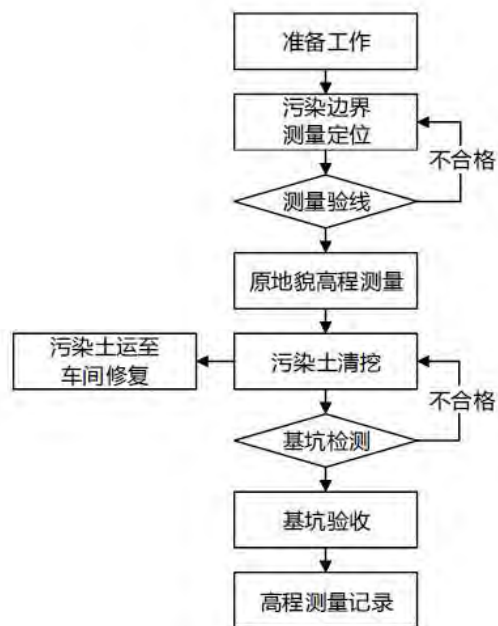


图 5.3-3 开挖流程图

本工程土方开挖采用人工配合反铲挖土机分污染区域挖运施工，自卸汽车装土场内运输。根据污染场区划分区段，整体的清挖顺序为：

NTD-6→NTD-5→NTD-3→NTD-7→NTD-2→NTD-4→NTD-1。

由于本工程清挖土壤深度为 2m，污染物均为氯代烃，因此不用分污染类型开挖。先对土方开挖区域进行标识，测放出开挖范围，测明不同类型土壤的边界线，不同边界位置设置控制桩，边开挖边进行监督管理，严禁超挖与错挖。采用反铲侧向挖土方法进行开挖，清挖时挖掘机一面沿着基坑的一侧移动，自卸汽车在另一侧装运土。开挖过程中，根据现场情况进行洒水及喷洒异味抑制剂。土壤清挖后，及时采用密闭车辆运输至厂区内钢结构密闭大棚内进行异位修复或暂存。

基坑完成开挖土方后，取样分析基坑侧壁和底部土壤中特征污染物含量是否小于本场地土壤修复目标浓度，若土壤中目标污染物浓度大于修复目标浓度，施工单位和第三方监测机构应通知建设单位，经建设单位方确认并同意后再实施进一步的继续清挖。继续清挖进程每次一般为1 m。

土壤清挖完成后，向清挖区域敷设 HDPE 膜，同时喷洒气味抑制剂，上述操作完成后再将充气式移动大棚的转移至下一片待挖区域。

清挖时为杜绝废气无组织排放，本项目设置 1 个充气式移动密闭棚进行土壤清挖作业，作业时移动大棚保持微负压状态，废气分别经收集后通过 1 根 15m 高排气筒 P₃ 有组织排放。

表 5.3-2 移动清挖大棚配置情况

大棚设置	设备	每天 8h 作业 开挖能力	工作时间	环保设施
移动大棚	挖掘机、运输机	480m ³ /d	2021.5.9~2021.7.3	设置 1 台“滤筒除尘 +活性炭吸附”设施

土壤清挖过程中产生的污染物包括设备运转噪声，清挖过程中产生的扬尘、VOCs、异味，运输产生的扬尘与可能产生的异味，废气处理装置产生的废活性炭、基坑开挖产生的基坑废水等。

5.3.3.2 污染土壤运输

根据《实施方案》，本项目需场地内倒运土方共 9119.58m³，均经密闭汽车按照规定的路线运至密闭钢结构大棚进行修复。本项目各区域挖运路线和主干道相连（主干道宽 6m），车辆进出修复车间流向统一，使整个场地运输路线始终保持畅通。车辆运输路线详见下图：



图 5.3-4 污染土壤清挖运输路线示意图

5.3.3.3 污染土壤原地异位解吸修复

本项目 0~2m 层污染土壤主要采取的异位修复方式为常温解吸修复，即污染土壤现场挖掘后运至密闭原地异位解吸修复车间的专业解吸设备，常温下通过专业原地异位解吸设备（专业解吸设备）将污染土壤与原地异位解吸药剂混合，解吸后的土壤通过铲车堆置成垛，利用 ALLU 筛分斗定时机械扰动堆垛反应区的污染土壤，扰动过程中产生的废气通过车间通风送至废气治理设施（滤筒除尘+三级活性炭吸附）进行处理，处理后的尾气经一根 15m 高的排气筒 P4 排放。原地异位解吸修复技术示意图如下：

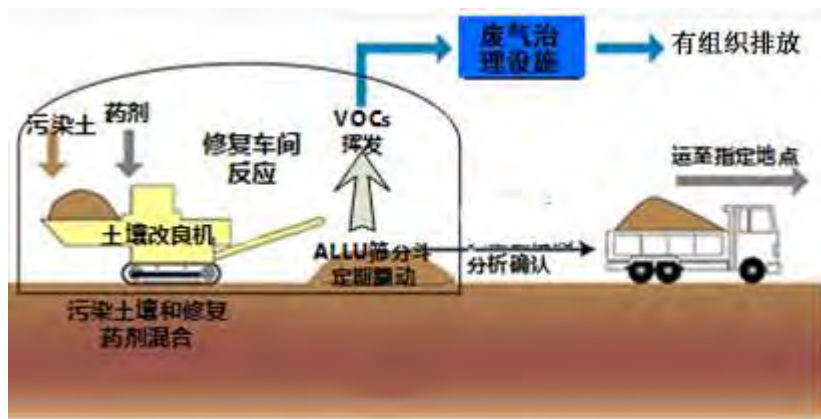


图 5.3-5 原地异位解吸技术示意图

本项目设置 1 座钢结构密闭大棚，内设置常温解吸区、污染土壤临时堆置区等。原地异位解吸车间平面布置图如下所示：

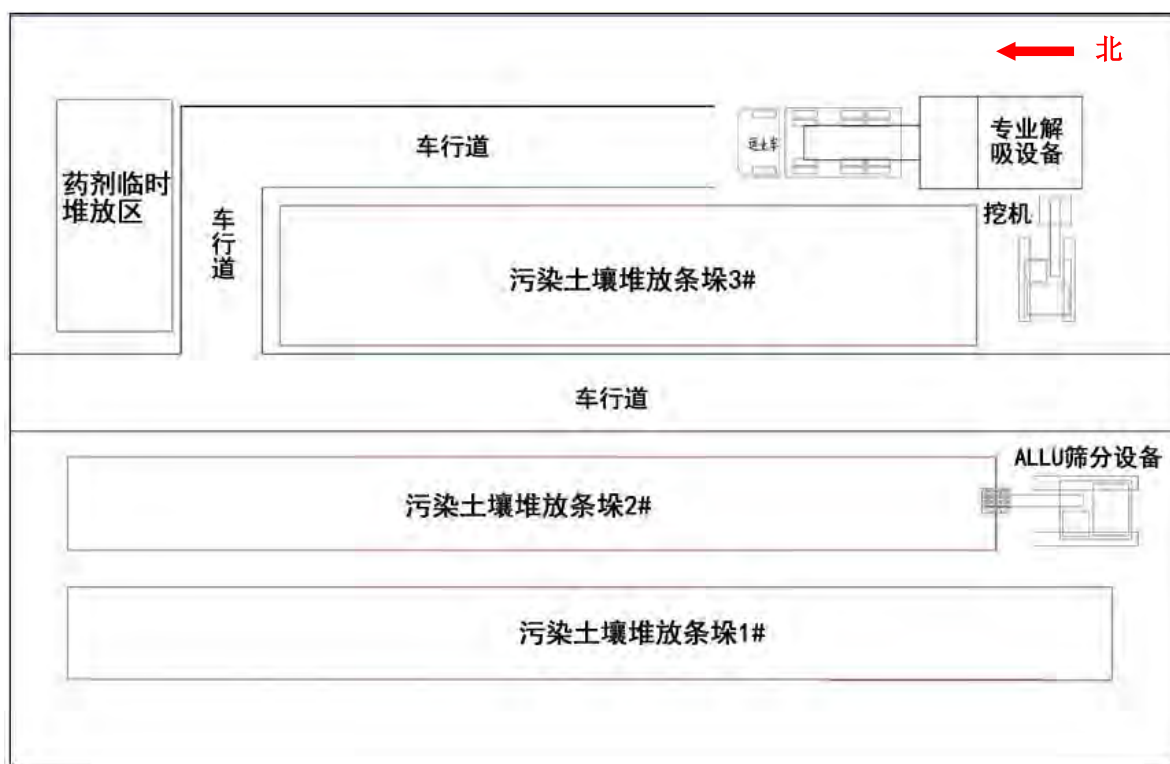


图 5.3-6 原地异位解吸车间平面布置图

原地异位解吸修复工艺流程详述如下：

①入料

本项目设置 3 个污染土壤临时堆置区，污染土壤运输车辆进入车间后卸土至各堆置区。运输车辆采用自卸式卡车，分为 3 队，每队负责车间 1 个区域的入料。运输车辆从车间南端进入，卸土后再从车间北端出。车间每批次入料设计为 1000m³。

②堆置作业

车间配备 1 台 50 型铲车进行污染土壤的堆置作业，在车间内将污染土壤堆置为 3 拢长条土垛。堆置土垛的规格分别为：4m×45m、4m×40m、6m×30m，高均约 2m，呈梯形，车间共可堆置 1000m³ 土壤。

③预处理

对堆置好的污染土壤中污染物类型、污染浓度、含水率等参数进行测定。根据原有工程经验，若含水率高于 30%，添加 4%-6%的药剂，若含水率高于 30%，添加 6%的药剂，直至土壤含水率约 10%左右，此时土壤变为疏松多孔状，利于后期原地异位解吸作业的进行。

当土壤含水率满足要求后，采用 ALLU 筛分机对污染土壤进行筛分，将土壤粒径控制在 30mm 以下。ALLU 设备斗容 2.2m³，每小时可筛分破碎污染土 50m³。筛出的渣块通过运输车送至洗车池进行冲洗后作为一般固体废物处理。预处理过程中挥发出的污染废气，通过大棚内设置的引风系统导入废气处理系统处理后，通过 15m 高排气筒 P4 排放。

④异位解吸修复

本项目采用原地异位解吸专业设备用于污染土壤与解吸药剂的混合。首先通过推土车将堆垛中的污染土壤运至车间东南角的专业解吸设备中，通过计量泵和密闭管道将解吸药剂泵入专业解吸设备中。本项目异位解吸药剂添加比例约为 4%-6%。专业解吸设备破碎和混合过程为多级过程：一次混合、二次混合、三次混合，能保证污染土壤与修复药剂的混合均匀。解吸专业设备及设备运行过程示意图如下所示：



图 5.3-7 解吸专业设备



图 5.3-8 专业设备运行过程示意图

根据《实施方案》，原地异位即系修复污染土壤总量为 9119.58m^3 （实方），虚方比以 1.3 计，则筛分工程量为 11855.45m^3 ，经筛分后预计减量 5%，则筛分后污染土壤总量约 11262.68m^3 。根据施工计划，该设备每天可处理污染土方量为 480m^3 。

污染土壤与解吸药剂混合反应后，用推土车将解吸后的土壤推至原堆垛，采用 ALLU 筛分设备对污染土壤的堆垛进行定时、间歇性扰动，促进其中有机污染物的解吸、挥发和扩散。本项目设计扰动频次为 4 次/日，从早上 8:00 开始至晚上 20:00，扰动间隔为 4h，整个扰动周期为 4 天。具体修复时间将根据项目实施过程中的试剂修复效果进行调整。

表 5.3-3 污染土壤每天修复作业时间安排

扰动次数序号	1	2	3	4
作业时间安排	8:00	12:00	16:00	20:00

土壤常温修复过程中产生的污染物有：扬尘、异味、溢散的有机废气 VOCs、以及设备噪声等。修复过程中混合搅拌、保温养护、摊铺翻抛等过程均在密闭大棚内进行，大棚内维持微负压，采用鼓风/引风系统送风，处理过程中产生的废气通过大棚内设置的引风系统导入废气处理系统处理后，通过 15m 高排气筒 P4 排放。

⑤修复后土壤出料

出料行车次序与进料类似，每车队配备 1 台装载机，负责所属土垛的出料情况，运至制定的待检区。本项目在修复车间北侧设置修复后土壤暂存区，地面铺设 HDPE 防渗膜，修复车间的出土均按批号和日期排列。当土方自解吸修复车间运出后，立即对其进行苫盖，防止扬尘和残留物质挥发，待验收合格后，回填至原基坑。

⑥检验

为保证修复质量，需对修复后的土壤进行定期检验。检测委托第三方检测单位进行。待检区的土壤设有绿色、黄色和红色标识牌，绿色表示检测通过，黄色标识取样完毕等待检测结果，红色表示检测不合格，需重新进行修复。需重新进行修复的土壤通过密闭汽车按照规定的运输路线运输至修复车间进行再次修复，直至最终修复达标。

固定钢结构大棚内设置情况见下表：

表 5.3-4 异位修复大棚设置情况及处理能力一览表

异位修复设备	建设面积 (m ²)	长×宽×高 (m)	用途	处理土方	暂存能力 (m ³)	送排风量
固定钢结构大棚	1920	60*32*9	常温解吸	480 m ³ /d	1000	送风：略小于引风量 引风：24000 m ³ /h
主要设备情况		大棚内设置挖掘机 1 台；破碎筛分斗 1 台(ALLU 设备)1 台；专业解吸设备 1 台；推土车 1 台；				

4) 异位解吸修复后土壤回填

本项目原地异位解吸修复后的土壤经验收合格后，本着场地内部修复后土壤不出场的原则，全部回填至原开挖基坑。回填土方共计 13758.31m³，回填区域为场地 0~2 m 的 7 个基坑。回填采用振动碾进行碾压，施工顺序为：NTD-5→NTD-6→NTD-3→NTD-7→NTD-2→NTD-4→NTD-1。

回填施工如下详述：

a、施工前根据填方土料种类、密实度要求、施工条件等，合理确定填方土料含水率控制范围、虚铺厚度和压实遍数等参数。回填时注意控制好土壤含水率，如含水率过低应适当洒水润湿。回填土壤最佳含水率以手握成团落地开花为宜。

b、回填前将基坑四周内清理干净，不得有垃圾、杂物、积水等。清到与基坑四周排水沟基底标高齐平。

c、填方前应对填方基底和已完工程进行检查和中间验收，合格后做好隐蔽检查和验收手续。

d、填土分层铺摊。每层铺土厚度应根据土质、密实度要求和机具性能确定。

e、填方超过基底表面时，应保证边缘部位的压实质量。填土后，填方边缘宽填 0.5 m。

f、填方完成后，表面应进行拉线找平，凡超过标准高程的地方，及时依线铲平；

凡低于标准高程的地方，应补土找平压实。回填后高差控制在 1 m 内。

g、本工程回填土施工根据工程的实时进展分部完成。部分区域待基坑检测合格后，在不影响其他工序的情况下可以先期进行回填施工。

5.4 第四阶段（2021 年 6 月 28 日~2023 年 7 月 23 日）

本修复工程第四阶段主要为工程验收及整体移交阶段。该过程中，土壤及地下水均已完成修复，验收合格后，场区移交前进行各项临建设施拆除、设备退场；该过程中会有一定的扬尘及设备噪声产生。现场配置洒水车及雾炮机，拆除过程中按照实际按需洒水，进行湿式作业进行扬尘的控制，并且分阶段安排施工，避免大规模作业集中产生大量的扬尘，以减少对环境的影响。拆除工作仅在白天进行，且临厂界建筑物拆除尽量避免安排在中午。

表 5.4-1 各修复阶段主要产污环节与环境因素识别表

序号	工序	废气	废水	噪声	固废
第一阶段					
(一)	密闭大棚建设	——	——	——	——
	开挖独立基础	√	×	√	√
	基坑平整压实	×	×	√	×
	基坑浇筑混凝土	×	×	√	×
	钢筋和预埋件安装	×	×	√	×
	安装模板	×	×	√	×
	独立基础混凝土浇筑	×	×	√	×
	安装钢柱-柱间桁架	×	×	√	×
(二)	厂内基础设置	——	——	——	——
	测量放线	×	×	×	×
	清挖	√	×	√	√
	防渗膜铺设/浇筑混凝土	×	×	×	×
	废水/废气处理等公辅设施等安装	×	×	×	×
第二阶段					
(三)	止水帷幕施工	——	——	——	——
	场地平整	√	×	√	√
	测量放线	×	×	×	×
	开挖槽构	√	×	√	√
(四)	降水施工方案	——	——	——	——
	开挖明沟	√	×	√	√
	开挖区浅层水排水	×	√	×	×
	降水井施工	√	√	√	√
	水泵安装	×	×	×	×

	铺设排水管网	√	×	√	√
(五)	原位热解吸修复	——	——	——	——
	测量定位	×	×	×	×
	打井布管	√	√	√	√
	地面硬化、设备安装	×	×	√	×
	联动调试	×	×	√	×
	加热抽提	√	√	√	×
	保温抽提	√	√	√	×
	降温抽提	√	√	√	×
	验收	×	×	×	×
(六)	原位化学氧化修复	——	——	——	——
	测量定位	×	×	×	×
	打井布管	√	√	√	√
	地面硬化、设备安装	×	×	√	×
	联动调试	×	×	√	×
	化学药剂准备	×	×	×	×
	注射药剂	√	√	√	×
	化学反应	×	×	×	×
	验收	×	×	×	×
(七)	原位化学还原修复	——	——	——	——
	测量定位	×	×	×	×
	打井布管	√	√	√	√
	地面硬化、设备安装	×	×	√	×
	联动调试	×	×	√	×
	化学药剂准备	×	×	×	×
	注射药剂	√	√	√	×
	化学反应	×	×	×	×
	验收	×	×	×	×
(八)	长期管控运行	——	——	——	——
	尾水处理设施	√	√	√	√
第三阶段					
(九)	土方开挖	——	——	——	——
	搭建充气式移动大棚	×	×	×	×
	土方开挖/运输	√	×	√	√
	喷洒泡沫抑制剂	√	×	×	×
	铺设 HDPE 膜	×	×	×	×
	移动大棚转移	×	×	×	×
(十)	异位常温解吸修复	——	——	——	——
	筛分破碎	√	×	√	×
	调节含水率	×	×	×	×
	混合搅拌	√	×	√	×

	摊铺翻抛	√	×	√	×
	验收/检测	×	×	×	×
(十一)	回填清洁土壤	——	——	——	——
	测量	×	×	×	×
	基底整平	√	×	√	√
	分层回填	√	×	√	×
	分层铺土、耙平	√	×	√	×
	水平阻控收集处理系统施工	×	×	√	√
	机械碾	√	×	√	×
	修平正	×	×	√	×
	验收	×	×	×	×
(十二)	拆除设备	——	——	——	——
	拆除部分设施	√	×	√	√
第四阶段及退役期					
(十三)	工程验收及移交	——	——	——	——
	工程验收	×	×	×	×
	临建设施拆除、设备退场	√	×	√	√
	场地移交	×	×	×	×
	退役期管控	×	×	×	×

表 5.4-2 项目修复过程中药剂使用情况一览表

序号	修复阶段	药品名称	使用量 t	药剂配制	药剂投加方式
1	异位修复工艺方案	原地异位解吸药剂	1300	4%~6%	用 ALLU 斗进行初步拌合，10 m ³ 为一批次，添加药剂比例为土壤湿重的 0.8%~2%。搅拌 2~3 次，确保药剂混合均匀，达到修复效果。
2	原位化学氧化工艺方案	过硫酸钠	1402.16	27%	过硫酸盐药剂添加比为土壤湿重的 0.8%~1.2%，地面给药剂搅拌罐输送至注射井总控间，总控间内通过 1.25 MPa 空压机提供药剂输送压力，通过药剂注射软管注入至注射井中，采用高压注射。
		32%液碱	1822.81	无需配制	
3	原位化学还原工艺方案	复合还原药剂	130.23	33.3%	药剂添加比为土壤湿重的 0.3%~0.5%，地面给药剂搅拌罐输送至注射井总控间，总控间内通过 1.25 MPa 空压机提供药剂输送压力，通过药剂注射软管注入至注射井中，采用高压注射。
4	废水处理	PAM	200	/	/
		PAC	100		
		双氧水	2.0		
		硫酸亚铁	4.5		
		硫酸	1.0		

表 5.4-3 各阶段修复内容

阶段	修复内容	污染控制措施				监控手段	监控目标
		废水	废气	噪声	固废		
准备阶段	场地清理	/	对于场地现场采用滤网覆盖，运输车辆全苫布遮盖	围挡；低音设备	建筑垃圾和杂草树根清运至场地其他空置区域集中存放，设立标识，并采用密目网进行覆盖，防止扬尘	扬尘、VOCs、异味厂界监控、排气筒定期监测；厂界巡逻监测噪声	《恶臭污染物排放标准》（DB12/-059-95）；《天津市工业企业挥发性有机物排放标准》（DB12/524-2014）；《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）；《污水综合排放标准》（DB12/356-2018）；《声环境质量标准》（GB3096-2008）；《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523-2011）
	现场防护	洗车废水定期泵送至膜蓄水袋，再用泵送至尾水处理站进行处理	出入口设置洗车池，对进出车辆进行清洗	低噪音设备	洗车池内产生的底泥送至密闭大棚内处理后回填		
	施工道路硬化	/	/	低噪音设备			
	密闭钢结构大棚建设	/	扬尘：湿式作业	低噪音设备 静桩作业	污染土壤		
	止水帷幕建设	/	扬尘：湿式作业 异味：打桩机设置集气罩，并配套设置一套小型可移动的活性炭吸附装置，处理止水帷幕施工过程中搅拌注浆工序产生的废气，净化后的尾气有组织排放	低噪音设备	泥浆及少量污染土壤：采用密闭车辆运输至钢结构大棚内，与污染土壤一起出来后作为回填土		
原位热解吸	加热井、抽提井、测温井建设	基坑降水等通过泵打入膜蓄水袋内进行暂存后送入尾水处理系统进行处理	扬尘：湿式作业 异味：喷洒气味抑制剂；原位热解吸打井、设备安装完成后，地表进行水泥硬化，以控制无组织废气从地表逸散	低音设备，围挡降噪，合理安排作业设备，合理安排作业时间	泥浆及少量污染土壤：采用密闭车辆运输至钢结构大棚内，与污染土壤一起修复作为回填土；脱附的废冷凝液作为危险废物处置	扬尘、VOCs、异味厂界监控、排气筒定期监测；厂界巡逻监测噪声；定期出水	

		原位热解吸修复	抽提出的高温气体经多相分离器分离后，液体经尾水处理系统处理后，排放至市政污水管网	抽提出的高温气体经多相分离器分离后，气体经三级串联活性炭处理后有组织排放	低音设备，基础减振，吸声材料降噪，合理安排作业设备，合理安排作业时间	活性炭、污水处理站污泥在危废间暂存后，交由有资质的单位进行处置	口水样监测	
原位化学氧化		注射井建设	基坑降水等通过泵打入膜蓄水袋内进行暂存后送入尾水处理系统进行处理	扬尘：湿式作业 异味：施工时，高压旋喷钻机设置集气罩，并配套设置小型可移动的活性炭吸附装置，处理原位化学氧化/原位化学还原施工过程中产生的废气，净化后的尾气排气筒有组织排放；每次注药工序完成后，及时对地表进行覆盖，控制无组织废气的逸散。	低音设备，围挡降噪，合理安排作业设备，合理安排作业时间；南侧厂界施工时设置隔声罩；不在中午、夜间进行施工	泥浆及少量污染土壤：采用密闭车辆运输至钢结构大棚内，与污染土壤一起出来后作为回填土		
		原位化学氧化	涌浆首先进行硫酸盐检测，若浓度较高进行回收，若浓度较低则通过泵打入膜蓄水袋内进行暂存后送入尾水处理系统进行处理		低音设备，围挡降噪，合理安排作业设备，合理安排作业时间；南侧厂界施工时设置隔声罩；2台钻机不在同侧厂界同时施工；不在中午、夜间进行施工	/		
		原位化学还原	/		低音设备，围挡降噪，合理安排作业设备，合理安排作业时间；南侧厂界施工时设置隔声罩；不在中午、夜间进行施工	/		
原地异位解吸		土壤开挖	开挖过程中产生的基坑降水，收集在膜蓄水袋中，再用泵送至尾水处理站进行处理	扬尘：洒水、在充气式移动大棚内开挖； 异味、VOCs：充气式移动大棚内开挖，经滤筒除尘+活性炭吸附处理后有组织排放；开挖后向基坑喷洒气味抑制剂泡沫、铺设HDPE膜；污染土壤采取密闭车辆运至钢结构大棚内暂存、处理；	低音设备，基础减振，合理安排作业设备，合理安排作业时间；开挖移动大棚隔声；	废活性炭及时更换，并交由有资质的单位进行处置	扬尘、异味厂界监控、排气筒定期监测；厂界巡逻监测噪声；定期出水口水样监测	

	土壤运输	/	运输车辆进行苫布遮盖，防止沿途洒落	合理安排运输时间	/		
	预处理	/	扬尘：洒水、车间内筛分，产生的扬尘经风机引至“滤筒除尘+活性炭吸附”装置处理后有组织排放。	围挡；低音设备；合理安排施工；	/		
	异位解吸修复	污染土壤预处理产生的渣块运至洗车池进行冲洗，产生的冲洗废水定期泵送至膜蓄水袋中，再用泵送至尾水处理站进行处理	扬尘：洒水、车间内修复；异味：密闭大棚内解吸修复过程产生的有机废气经风机引至“滤筒除尘+活性炭吸附”装置处理后有组织排放。	围挡；低音设备；风机设置隔声罩；	污泥收集后在危废间内暂存，后交由有资质的单位进行处理		
	修复后土壤出料	/	/	低音设备，围挡降噪，合理安排作业设备，合理安排作业时间	污染土壤外运至异位处置场；废活性炭在危废间暂存后，交由有资质的单位进行处置		
长期管控	危废间运行，污水站建设及运行	尾水处理系统调试废水经污水站处理后进行检测，达标后排入市政管网；	异味：污水站密闭，喷洒植物除臭剂、气味抑制剂；危废采用密闭容器暂存。	厂界围挡；低音设备；合理安排污水处站噪声设备位置；	活性炭等危废在危废间暂存后，交由有资质的单位进行处置	异味厂界监控；厂界巡逻监测噪声；定期出水口水样监测	

5.5 主要污染工序:

本项目施工过程汇总主要产排污见下表。

表 5.5-1 各阶段修复主要产排污点

第一阶段				
项目	来源	防治措施	排放方式	最终去向
废水	施工人员生活污水	/	间歇排放	排入市政污水管网
	车辆清洗废水	定期泵送至膜蓄水袋暂存, 尾水处理系统 (20m ³ /h) 进行处理		经尾水处理系统处理达标后排入市政污水管网
废气(异味、扬尘)	开挖明沟、集水井、基础施工等土方扰动	湿式作业、洒水抑尘、喷洒除臭剂或气味抑制剂	连续排放	无组织排放
噪声	施工机械设备噪声	静桩作业、低噪声设备	间歇排放	/
固废	生活垃圾	集中收集	间歇排放	厂区内暂存后交由城管委清运
	泥浆、污染土	运至钢结构大棚内暂存	间歇排放	经处理后作为回填土方
第二阶段---风险管控				
废水	施工人员生活污水	化粪池	间歇排放	排入市政污水管网
	车辆清洗废水、渣块冲洗水	经膜蓄水袋暂存, 尾水处理系统 (20m ³ /h) 进行处理	间歇排放	经尾水处理系统处理达标后排入市政污水管网
废气	止水帷幕施工废气 VOCs、异味	钻杆集气罩收集, 经小型活性炭吸附装置处理后有组织排放	间歇排放	处理达标后通过 2 根 15m 高排气筒 P ₁₋₁ 、P ₁₋₂ 排放
噪声	露天	选用低噪声设备; 2 台钻机不在同侧厂界同时施工; 不在中午、夜间进行施工	间歇排放	/
固体废物	置换泥浆	置换泥浆经密闭汽车收集后运至密闭修复车间进行修复, 修复合格后回填	间歇排放	/
第二阶段---原位热解吸修复				
废水	原位热解吸抽提降水、抽提废水	经膜蓄水袋暂存, 尾水处理系统 (20m ³ /h) 进行处理	间歇排放	经尾水处理系统处理达标后排入市政污水管网
	车辆清洗废水			
	施工人员生活污水	化粪池	间歇排放	排入市政污水管网
废气	抽提废气	经尾气处理系统处理后, 有组织排放	持续 24h 排放	处理达标后经过 15m 高的排气筒 P ₂ 排放
	地表挥发废气	在原地热解吸修复区	持续 24h	不外排

		及其以外 3m 铺设“双重保险”的“污染阻隔”保温层	排放	
噪声	抽提设备（泵等）	集中放置，采用集装箱、隔声棉等降噪；选用低噪声设备，合理设置设备位置；	连续排放	/
	废气处理设备	风机等，采取隔声罩；合理设置设备位置	连续 24h 排放	
固体废物	生活垃圾	集中收集、暂存	间歇	城管委清运
	一般工业固体废物	一般固体废物暂存间	间歇	
	危险废物（药剂包、废活性炭、废冷凝液等）	危废暂存间	间歇排放	交由有资质单位处理处置
	一般固体废物（泥浆）	运至钢结构大棚内暂存、处理	间歇排放	处理达标后作为回填土
第二阶段---原位化学氧化修复				
废气	高压旋喷废气	钻杆集气罩收集，经小型活性炭吸附装置处理后有组织排放	间歇排放	处理达标后通过 2 根 15m 高排气筒 P ₃₋₁ 、P ₃₋₂ 排放
	药品反应废气	修复完成后，及时对地表进行覆盖	连续 24h 排放	无组织排放
废水	车辆清洗废水	经膜蓄水袋暂存，尾水处理系统（20m ³ /h）进行处理	间歇排放	经尾水处理系统处理达标后排入市政污水管网
	施工人员生活污水	化粪池	间歇排放	排入市政污水管网
噪声	注射设备（泵等）	集中放置，采用集装箱、隔声棉等降噪；选用低噪声设备，合理设置设备位置；	连续排放	/
固体废物	生活垃圾	集中收集、暂存	间歇	城管委清运
	一般工业固体废物	一般固体废物暂存间	间歇	
	危险废物（药剂包、废活性炭等）	危废暂存间	间歇排放	交由有资质单位处理处置
	一般固体废物（泥浆）	运至钢结构大棚内暂存、处理	间歇排放	处理达标后作为回填土
第二阶段---原位化学还原修复				
废气	高压旋喷废气	钻杆集气罩收集，经小型活性炭吸附装置处理后有组织排放	间歇排放	处理达标后通过 2 根 15m 高排气筒 P ₄₋₁ 、P ₄₋₂ 排放
	药品反应废气	修复完成后，及时对地表进行覆盖	连续 24h 排放	无组织排放
噪声	注射钻机等机械设备	集中放置，采用集装箱、隔声棉等降噪；选	间歇排放	/

		用低噪声设备,合理设置设备位置;		
废水	车辆清洗废水	经膜蓄水袋暂存,尾水处理系统(20m³/h)进行处理	间歇排放	经尾水处理系统处理达标后排入市政污水管网
	施工人员生活污水	化粪池	间歇排放	排入市政污水管网
噪声	注射设备(泵等)	集中放置,采用集装箱、隔声棉等降噪;选用低噪声设备,合理设置设备位置;	连续排放	/
固体废物	生活垃圾	集中收集、暂存	间歇	城管委清运
	一般工业固体废物	一般固体废物暂存间	间歇	城管委清运
	危险废物(药剂包、废活性炭等)	危废暂存间	间歇排放	交由有资质单位处理处置
	一般固体废物(泥浆)	运至钢结构大棚内暂存、处理	间歇排放	处理达标后作为回填土
第三阶段---原地异位解吸				
废水	施工人员生活污水	化粪池	间歇排放	排入市政污水管网
	车辆清洗废水、渣块冲洗水	经膜蓄水袋暂存,尾水处理系统(20m³/h)进行处理	间歇排放	经尾水处理系统处理达标后排入市政污水管网
	基坑废水		间歇排放	
废气	土方清挖	采用充气大棚开挖、洒水,废气经“滤筒除尘+活性炭吸附”进行处理	连续 8h 排放	处理达标后通过 15m 高排气筒 P ₅ 排放
	污染土壤修复(钢结构密闭大棚内 VOC、异味)	滤筒除尘+活性炭吸附	连续 24h 排放	处理达标后通过 15m 排气筒 P ₆ 排放
	开挖后土壤溢散 VOCs、异味	铺设 HDEP 膜、喷洒气味抑制剂	间歇 24h 排放	无组织排放
	土壤开挖回填废气	湿式作业,洒水	间歇排放	无组织排放
噪声	移动式开挖大棚内	挖掘机、运输车辆等采用低噪声设备	间歇, 8h 排	/
	密闭大棚外	送风机、引风机采用隔声罩; 风机设置在远离厂界及敏感目标处	连续 24h 排放	/
	密闭大棚内	处理设备等采用低噪声设备	间歇, 10h 排放	/
固体废物	生活垃圾	集中收集	间歇排放	交由环卫部门清运处理
	一般工业固体废物	一般工业固体废物暂存间	间歇排放	
	危险废物(药剂包、废活性炭等)	危废暂存间	间歇排放	委托有资质单位处理处置
废水处理				

废水	压滤废水	通过管道进入调节池，而后进入尾水处理系统	间歇	处理达标后，经废水排放口，排入市政污水管网
废气	废水处理过程	一体化设备，在管道相关接口处、开盖进行作业时喷洒除臭剂	间歇	无组织排放
噪声	泵等设备	采用效音箱等措施；合理设置设备位置；	连续，24h 排放	/
固体废物	危险废物（油泥）	隔油池，定时清运	连续	交由有资质单位处理处置
	危险废物（药剂包装袋等）	危废暂存间	间歇	交由有资质单位处理处置

5.5.1 废气

5.5.1.1 有组织废气

有组织排放有机污染物产生量核算依据：

通过对《场调报告》中污染土壤、污染地下水的全部检测数据进行统计分析来得到本次评价的源强计算依据，详见下表：

表 5.5-2 本场地有机污染物含量数据统计结果

（单位：土壤样品单位为 mg/kg，地下水样品单位为：mg/L）

物质名称		最大值	第 95 百分位数	算数平均值	中位数	目标修复值
污染土壤	VOCs	652.72	328.13	75.51	15.35	/
	苯	0.45	0.43	0.19	0.13	0.64
	甲苯	0.27	0.27	0.15	0.11	850
	二甲苯	1.34	1.28	0.72	0.51	74
	乙苯	0.93	0.90	0.58	0.6	450
	氯苯类	3.94	3.81	1.7	1.21	/
	氯乙烯	3.2	3.2	2.95	3.15	0.25
污染地下水	VOCs	1355.75	766.03	116.75	3.23	/
	苯	1.18	0.86	0.11	0.006	0.01
	甲苯	0.009	0.006	0.002	0.001	2.34
	二甲苯	1.83	1.61	0.34	0.063	0.5
	乙苯	3.68	3.29	0.66	0.14	
	苯乙烯	0.006	0.005	0.003	0.003	1.15
	氯苯类	1.47	0.23	0.1	0.01	/
	氯乙烯	22.2	12.54	2.08	0.18	0.02

根据样品统计结果数据统计学分析，本评价取第 95 百分位数作为整个场地土壤中有机污染物含量，按照有机物全部挥发进行有机污染物源强核算。

（1）止水帷幕施工废气

根据《实施方案》，本修复工程拟采用 2 台三轴搅拌机分别对厂界四侧及原位热解吸区域进行止水帷幕施工，所需工期约 30 天，每台搅拌桩基每次工作时间约 1.5 小时。

止水帷幕施工过程中废气主要为三轴搅拌桩机下钻返浆过程中挥发的少量有机物，本修复工程拟在每套三轴搅拌桩机钻杆周围设集气罩，挥发的有机废气经集气罩引风收集，进入配套的 1 套活性炭吸附装置处理后，分别经各自配套的 1 根 15m 高的排气筒 P₁₋₁、P₁₋₂ 排放，设计风量为 2000m³/h。

设计集气罩直径约 2m，封闭扰动土方面积约 3.14m²，污染土壤深度小于 14m，扰动污染土方量小于等于 43.96m³，土壤密度约 1900kg/m³。施工区域土壤中有有机物 VOCs 含量为 328.13mg/kg，计算得到单套搅拌桩机工作过程扰动土壤中有有机污染物的总量约为 27.41 kg。常温下有机物挥发量按 0.1%计，则单套搅拌桩机一次工作过程中有机物挥发量约 0.27kg，每台搅拌桩机每次工作时间约1.5 小时，有机废气 VOCs 产生速率约 0.18kg/h，废气分别经 1 套活性炭吸附装置处理，分别由 2 根 15m 高的排气筒 P₁₋₁、P₁₋₂ 排放。本次评价活性炭吸附效率以 60%计，则有机废气 VOCs 排放速率约为 0.073kg/h，排放浓度约为 36.5mg/m³。同理计算特征污染物苯、甲苯、二甲苯、乙苯、氯苯类及氯乙烯的产生及排放情况，详见下表：

表 5.5-3 止水帷幕施工废气产生及排放情况一览表

污染物	产生源强 (kg/h)	排风量 m ³ /h	排放源强		治理措施
			速率 kg/h	浓度 mg/m ³	
VOCs	0.018	2000	0.0073	3.7	分别经两套活性炭修复装置处理，处理效率以 60%计，净化后的尾气分别经 2 根 15m 高排气筒 P ₁₋₁ 、P ₁₋₂ 有组织排放
苯	0.00002		0.000008	0.004	
甲苯	0.000015		0.000006	0.003	
二甲苯	0.00007		0.00003	0.014	
乙苯	0.00005		0.00002	0.01	
氯苯类	0.0002		0.00008	0.04	
氯乙烯	0.0002		0.00008	0.04	

（2）原位热解吸废气

根据《实施方案》，本项目拟对深层污染土壤（2~14m）、中度地下水污染区域中与土壤污染复合的区域、重度污染地下水，采用原位热解吸技术进行修复。

本项目原位热解吸修复过程中挥发性污染物产生源强计算公式，如下所示：

$$E=V \cdot C \cdot W \cdot 10^{-6} / T \quad (a)$$

$$E=V \cdot W \cdot 10^{-3} / T \quad (b)$$

其中土壤修复过程中产生的污染物源强以（a）式计算，地下水修复过程中产生的污染物源强以（b）式计算，公式中参数含义如下：、

E—修复过程产生源强，kg/h；

V—被修复的土壤/地下水的量，m³；

C—被加热的土壤容重，kg/m³（本项目土壤容量取 1900kg/m³）；

W—污染物的平均挥发量，土壤为 mg/kg，地下水为 mg/L；

T—修复时间，h。

根据《实施方案》，ISTD-3 和 ISTD-1~ISTD-2、ISTD-4~ISTD-7 分开加热修复，ISTD3 修复期为 150 天，ISTD-1~ISTD-2、ISTD-4~ISTD-7 的修复期为 90 天。原位热解吸修复过程中被抽提出的高温蒸汽经多相分离器分成气相和液相，气相经尾气处理设施（三级串联活性炭吸附装置，其中第一级为活性炭脱附再生装置，第二级和第三级为活性炭吸附装置）处理，本次评价单级活性炭去除效率以 60%计，则三级活性炭去除效率约 94%处理后的尾气经一根 15m 高的排气筒 P₂ 排放，液相经尾水处理系统处理后，经总排口排至市政污水管网。

本次计算以污染土壤或地下水中的污染物全部挥发进入废气来进行原位热解吸过程中废气产生及排放源强。通过计算，原位热解吸修复过程中污染物源强如下表所示：

表 5.5-4 原位热解吸修复过程中污染物产生量一览表

加热批次	修复区域	污染因子	修复量(m ³)	污染物浓度(mg/kg)	产生源强(kg/h)	排放源强(kg/h)
第一批	土壤 ISTD-3 (2-3m、7-11m、13-14m)	VOCs	17489.22	339.68	3.028778	0.181727
		苯	17489.22	0.43	0.003969	0.000238
		甲苯	17489.22	0.27	0.002492	0.000150
		二甲苯	17489.22	1.09	0.011815	0.000709
		乙苯	17489.22	0.91	0.008307	0.000498
		氯苯类	17489.22	3.85	0.035168	0.002110
		氯乙烯	17489.22	3.2	0.029537	0.001772
	第二层地下水 ISTD-3 (3-7m)、第三层地下水 ISTD-3 (11-13m)	VOCs	17489.22	766.03	3.721463	0.223288
		苯	17489.22	0.86	0.004178	0.000251
		甲苯	17489.22	0.006	0.000029	0.000002
		二甲苯	17489.22	1.61	0.007822	0.000469
		乙苯	17489.22	3.29	0.015983	0.000959
		苯乙烯	17489.22	0.005	0.000024	0.000001

第二批			氯苯类	17489.22	0.23	0.001117	0.000067
			氯乙烯	17489.22	12.54	0.060921	0.003655
	土壤	ISTD-1 (2-3m)、 ISTD-2 (2-3m)、 ISTD-6 (2-3m、 7-10m)、 ISTD-7 (7-10m)	VOCs	7429.29	339.68	2.144337	0.128660
			苯	7429.29	0.43	0.002810	0.000169
			甲苯	7429.29	0.27	0.001764	0.000106
			二甲苯	7429.29	1.09	0.008365	0.000502
			乙苯	7429.29	0.91	0.005882	0.000353
			氯苯类	7429.29	3.85	0.024898	0.001494
			氯乙烯	7429.29	3.2	0.020912	0.001255
	潜水地下水	ISTD-1 (3-4m)、 ISTD-2 (3-7m)、 ISTD-4 (3-7m)、 ISTD-5 (3-7m)、 ISTD-6 (3-7m)、 ISTD-7 (3-7m)	VOCs	10682.37	766.03	3.788433	0.227306
			苯	10682.37	0.86	0.004253	0.000255
			甲苯	10682.37	0.006	0.000030	0.000002
			二甲苯	10682.37	1.61	0.007962	0.000478
			乙苯	10682.37	3.29	0.016271	0.000976
			苯乙烯	10682.37	0.005	0.000025	0.000001
			氯苯类	10682.37	0.23	0.001137	0.000068
			氯乙烯	10682.37	12.54	0.062017	0.003721

注：土壤中污染物浓度和修复目标值单位为 mg/kg，地下水中污染物浓度和修复目标值单位为 mg/L。

由上表可知，原位热解吸修复期间，废气污染物最大源强出现在修复 ISTD-3 时，则废气最大产生源强为表 5.5-4 中 ISTD-3 区域产生源强之和，详见下表：

表 5.5-5 原位热解吸修复过程中最大源强一览表

污染物	产生源强 (kg/h)	排风量 m³/h	排放源强		治理措施
			速率 kg/h	浓度 mg/m³	
VOCs	6.75	7500	0.41	54.7	经多相分离器分离出的废气经 密闭管道进入废气治理设施（三 级活性炭吸附），处理效率> 94%，净化后的尾气经 1 根 15m 高排气筒 P ₂ 有组排放
苯	0.008		0.0005	0.07	
甲苯	0.003		0.0002	0.03	
二甲苯	0.02		0.001	0.13	
乙苯	0.024		0.001	0.13	
苯乙烯	0.00002		0.000001	0.0001	
氯苯类	0.04		0.002	0.27	
氯乙烯	0.09		0.005	0.67	

（3）原位化学氧化高压旋喷废气

本修复工程原位化学氧化区域设置 2 台高压旋喷钻机，施工完成后对场地进行覆盖，施工过程中产生的废气分别引入 2 套活性炭吸附装置处理后分别有组织排放。

本项目原位化学氧化施工时，高压旋喷钻杆周围设集气罩，集气罩直径 2m，挥发的有机废气经集气罩引风收集后进入配套的 2 套活性炭修复装置处理后由 2 根 15m 高的排气筒 P₃₋₁、P₃₋₂ 排放，设计风机风量均为 2000m³/h。

设计集气罩直径 2m，封闭扰动地下水水量 3.14m³，污染地下水深度 4m。施工区域地下水中有有机物 VOCs 含量为 766.03mg/kg，计算得到高压旋喷钻机工作过程扰动地下水中有有机污染物的总量约为 9.62kg。常温下地下水中有有机物挥发量按 0.5%计，则高压旋喷钻机一次工作过程中有机物挥发量约 0.05kg，高压旋喷钻机每次工作时间约 15min，则有机废气 VOCs 产生速率约 0.2kg/h。本次评价活性炭吸附效率以 60%计，则有机废气 VOCs 排放速率约为 0.2kg/h，排放浓度约为 40mg/m³。同理计算特征污染物苯、甲苯、二甲苯、乙苯、氯苯类及氯乙烯的产生及排放情况，详见下表：

表 5.5-6 原位化学氧化施工废气产生及排放情况一览表

污染物	产生源强 (kg/h)	排风量 m ³ /h	排放源强		治理措施
			速率 kg/h	浓度 mg/m ³	
VOCs	0.2	2000	0.08	40	经活性炭修复装置处理，处理效率以 60%计，净化后的尾气经 2 根 15m 高排气筒 P ₃₋₁ 、P ₃₋₂ 有组织排放
苯	0.00009		0.000036	0.018	
甲苯	0.0000006		0.00000024	0.00012	
二甲苯	0.0002		0.00008	0.04	
乙苯	0.00033		0.000132	0.066	
苯乙烯	0.0000005		0.0000002	0.0001	
氯苯类	0.00002		0.000008	0.004	
氯乙烯	0.002		0.0008	0.4	

(4) 原位化学还原高压旋喷废气

本修复工程原位化学还原区域设置 2 台高压旋喷钻机，施工完成后对场地进行覆盖，施工过程中产生的废气分别引入 2 套活性炭吸附装置处理后分别有组织排放。

本项目原位化学还原施工时，高压旋喷钻杆周围设集气罩，集气罩直径 2m，挥发的有机废气经集气罩引风收集后进入配套的 2 套活性炭修复装置处理后由 2 根 15m 高的排气筒 P₄₋₁、P₄₋₂ 排放，设计风机风量均为 2000m³/h。

设计集气罩直径 2m，封闭扰动地下水水量 3.14m³，污染地下水深度 4m。施工区域地下水中有有机物 VOCs 含量为 766.03mg/kg，计算得到高压旋喷钻机工作过程扰动地下水中有有机污染物的总量约为 9.62kg。常温下地下水中有有机物挥发量按 0.5%计，则高压旋喷钻机一次工作过程中有机物挥发量约 0.05kg，高压旋喷钻机每次工作时间约 15min，则有机废气 VOCs 产生速率约 0.2kg/h。本次评价活性炭吸附效率以 60%计，则有机废气 VOCs 排放速率约为 0.2kg/h，排放浓度约为 40mg/m³。同理计算特征污染

物苯、甲苯、二甲苯、乙苯、氯苯类及氯乙烯的产生及排放情况，详见下表：

表 5.5-7 原位化学还原施工废气产生及排放情况一览表

污染物	产生源强 (kg/h)	排风量 m³/h	排放源强		治理措施
			速率 kg/h	浓度 mg/m³	
VOCs	0.2	2000	0.08	40	经活性炭修复装置处理，处理效率以 60%计，净化后的尾气分别经 1 根 15m 高排气筒 P ₄₋₁ 、P ₄₋₂ 有组织排放
苯	0.00009		0.000036	0.018	
甲苯	0.0000006		0.00000024	0.00012	
二甲苯	0.0002		0.00008	0.04	
乙苯	0.00033		0.000132	0.066	
苯乙烯	0.0000005		0.0000002	0.0001	
氯苯类	0.00002		0.000008	0.004	
氯乙烯	0.002		0.0008	0.4	

(5) 开挖废气

本项目开挖过程产生的废气为扬尘和有机废气，下面分别计算其源强。

1) 扬尘

为避免大面积土方开挖施工造成大量扬尘污染环境，本工程在施工过程中对地块进行分区分阶段分布实施。本项目开挖设置 1 座移动密闭开挖大棚，大棚结构为 25m*20m*8m，开挖工序每天预计作业 8h，每台挖掘机每天开挖能力以 600m³/d 计。大棚内配置一台挖掘机及相应的渣土运输车辆，开挖时配备雾炮机，施工过程中按照实际按需洒水，进行湿式作业进行扬尘的控制，未被雾炮机降落的扬尘经管道收集至大棚配制的废气处理设施，处理工艺为“滤筒除尘+活性炭吸附”，处理后的尾气经 1 根 15m 高的排气筒 P3 排放。开挖过程中产生的废气源强计算如下：

根据《扬尘源颗粒物排放清单编制技术指南（试行）》，施工期间颗粒物的平均排放系数为 $2.68 \times 10^{-4} \text{ t}/(\text{m}^2 \cdot \text{月})$ ，即 $0.001112 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ （每天施工时间以 8h 计）。本项目清挖时设置一座移动大棚，大棚内配置挖掘机、一台雾炮机及相应的渣土运输车辆，清挖过程产生的扬尘经首先经雾炮机处理，再经移动大棚配置的“滤筒除尘+活性炭吸附”装置进行处理，处理后的尾气经一根 15m 高的排气筒 P₅ 排放。

废气排放速率根据下式计算：

$$\text{废气排放速率 (kg/h)} = \text{废气产生速率 (kg/h)} \times \text{收集效率 \%} \times \eta$$

式中：本项目移动大棚开挖时为微负压设置，因此收集效率取 100%。 η 为污染控制对污染物的去除效率，由于移动大棚内开挖时按需洒水，为湿式作业，本次评价洒水除尘效率取 50%，滤筒除尘效率取 90%，则“洒水除尘+布袋除尘”效率取 95%。

经计算，各开挖区域的颗粒物产生量如下表所示：

表5.5-8 开挖阶段颗粒物产生情况一览表

区域	污染物	面积 (m ²)	产生量(kg/h)	治理措施	排放速率 (kg/h)
NTD-1	颗粒物	2413.09	2.6834	雾炮除尘+脉冲除尘+活性炭吸附, 颗粒物去除效率以95%计	0.1342
NTD-2		306.47	0.3408		0.0171
NTD-3		1000.71	1.1128		0.0557
NTD-4		219.39	0.2440		0.0122
NTD-5		231.97	0.2580		0.0129
NTD-6		183.47	0.2040		0.0102
NTD-7		204.69	0.2276		0.0114

从上表看出, 开挖移动大棚颗粒物最大源强产生在清挖NTD-1区域时, 因此开挖工序颗粒物最大产生源强如下表所示:

表5.5-9 开挖阶段移动大棚颗粒物最大源强

开挖区域	污染物	产生源强 (kg/h)	排风量 m ³ /h	排放源强		治理措施
				速率 kg/h	浓度 mg/m ³	
NTD-1	颗粒物	2.6834	24000	0.1342	5.6	炮雾除尘+滤筒除尘+活性炭吸附装置 (颗粒物去除效率以 95%计), 最终废气经 1 根 15m 高的排气筒 P3 排放

2) 有机废气

本项目开挖过程中的搅动力会使土壤中气体产生一定量的挥发, 本项目设置 1 座移动密闭开挖大棚, 大棚结构为 25m*20m*9m, 内配置一台挖掘机及相应的渣土运输车辆, 土壤开挖能力为 600m³/d。

在土壤开挖时挥发性有机气体源强参照山西省环境科学研究院刘伟军等人“受污染场地施工扰动过程无组织排放源强计算方法研究”论文中相关数据, 挥发性有机废气源强与施工扰动土方量、土壤密度、污染物挥发量、扰动周期与扰动面积相关。挥发率与污染物浓度正相关, 浓度越高, 挥发率越大。根据其研究成果, 本次评价污染区域土壤扰动中各污染物挥发量按照场地调查过程中各污染物污染范围平均浓度以及各污染物理化性质的不同, 取值为 1%~5%计算。通过模拟实验法得出无组织排放源强计算公式, 如下所示:

$$E=V*C*W*10^{-6}/T$$

其中: E—土壤扰动过程无组织排放源强, kg/h;

V—施工扰动土方量，m³；

C—受扰动土层土壤容重，kg/m³；根据调查结果，土壤容重取值 1900kg/m³；

W—受扰动土层土壤中污染物的平均挥发量，mg/kg；

T—扰动周期，h；

经计算，清挖阶段有机废气最大排放情况如下表所示：

表 5.5-10 移动大棚开挖有机废气产生量

项目	土方量 (m ³ /d)	污染因子	污染物 浓度 mg/kg	作业时间 (h)	产生源 强 kg/h	排放源强 kg/h	治理措施
移动 大棚 开挖	600	VOCs	328.13	8	1.4	0.56	经“滤筒除尘+活性炭吸附装置”进行处理，处理效率以 60%计，最终通过 1 根 15m 高排气筒 P ₅ 有组排放
	600	苯	0.43	8	0.0031	0.00124	
	600	甲苯	0.27	8	0.002	0.0008	
	600	二甲苯	1.28	8	0.009	0.0036	
	600	乙苯	0.90	8	0.006	0.0024	
	600	氯苯类	3.81	8	0.027	0.0108	
	600	氯乙烯	3.2	8	0.023	0.0092	

注：各污染物的挥发量以 3%计。

(4) 原地异位解吸废气

原地异位解吸工序产生的废气主要为扬尘和有机废气，下面分别计算其源强。

1) 扬尘

修复过程中产生的扬尘参考《扬尘源颗粒物排放清单编制技术指南（试行）》中堆场扬尘源计算方法：

$$W_T = \sum_{i=1}^m E_h \times G_{hi} \times 10^{-3} + E_w \times A_T \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中：W_T为堆场扬尘源中颗粒物总排放量，t/a；

E_h为堆场装卸运输过程中扬尘颗粒物排放系数，kg/t，估算公示见式（2）；

m为每年堆场物料装卸总次数；

G_{yi}为第i次装卸过程的物料装卸量，t；

E_w为料堆受到风蚀作用的颗粒物排放系数，kg/m²，由于本项目修复在密闭修复大棚内进行，因此此项取0；

A_y为堆料表面积，m²；

装卸、运输物料过程扬尘排放系数的估算如下：

$$E_h = k_i \times 0.0016 \times \frac{\left(\frac{u}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}} \times (1 - \eta) \quad (2)$$

E_h 为堆场装卸扬尘的排放系数，kg/t；

K_i 为物料的粒度乘数，本报告取0.74；

u 为地面风速，本修复在密闭大棚进行，风速近似于静风风速0.5m/s；

M 为物料含水率，本报告取15%；

η 为污染控制计算对扬尘的去除效率，%，本项目修复在密闭大棚进行，保守估计，效率为90%。

通过计算，堆场装卸扬尘排放系数为 0.00065kg/t。根据施工计划，本项目日最大修复量为 480m³/d，污染土壤由密闭汽车从污染土壤暂存区运输至修复车间，每辆密闭运输车辆运输量为 20m³，每天装卸 25 次，通过计算，每天扬尘产生量为 0.325kg，装卸时间为 8h，则扬尘产生源强为 0.04kg/h。产生的源强经一套“滤筒除尘+三级活性炭吸附”装置处理后，由一根 15m 高的排气筒 P4 排放。滤筒除尘器效率为 90%，则扬尘排放源强为 0.004kg/h。

2) 有机废气

原地异位解吸工艺为常温解吸工艺，本项目固定钢结构大棚内每天土方修复处理能力为 480m³/d。本次评价有机废气产生量以挥发量 20%计算源强。

本项目异位修复过程中挥发性污染物排放源强计算公式，如下所示：

$$E = V * C * W * 10^{-6} / T$$

其中： E —土壤扰动过程无组织排放源强，kg/h；

V —施工扰动土方量，m³；

C —受扰动土层土壤容重，kg/m³；根据调查结果，土壤容重取值 1900kg/m³；

W —受扰动土层土壤中污染物的平均挥发量，mg/kg；

T —扰动周期，h，密闭大棚内工作时间以 24h/d 计算。

密闭修复大棚有机废气产生情况如下表所示。

表 5.5-11 修复车间有机废气污染物产生情况

项目	土方量 (m ³ /d)	污染因子	污染物最大浓度 mg/kg	作业时间 (h)	产生源强 kg/h	排放源强 kg/h	治理措施
异位解吸修复	480	VOCs	328.13	24	1.25	0.5	经“滤筒除尘+活性炭吸附装置”进行处理，处理效率以 60%计，最终通过 1 根 15m 高排气筒 P ₆ 有组排放
	480	苯	0.43	24	0.0017	0.0006	
	480	甲苯	0.27	24	0.001	0.0004	
	480	二甲苯	1.28	24	0.005	0.002	
	480	乙苯	0.9	24	0.0035	0.002	
	480	氯苯类	3.81	24	0.015	0.006	
	480	氯乙烯	3.2	24	0.012	0.005	

注：各污染物的挥发量以 10%计。

综上，本项目有组织排放废气源强，如下表所示：

表 5.5-12 本项目有组织废气排放源强一览表

污染源	排气筒编号	污染因子	产生速率 kg/h	风量 m ³ /h	排放速率 kg/h	排放浓度 mg/m ³
第二阶段						
止水帷幕施工废气	P ₁₋₁ 、P ₁₋₂ (15m)	VOCs	0.018	2000	0.0073	3.7
		苯	0.00002		0.000008	0.004
		甲苯	0.000015		0.000006	0.003
		二甲苯	0.00007		0.00003	0.014
		乙苯	0.00005		0.00002	0.01
		氯苯类	0.0002		0.00008	0.04
		氯乙烯	0.0002		0.00008	0.04
原位热解吸抽提废气	P ₂ (15m)	VOCs	6.75	7500	0.41	54.7
		苯	0.008		0.0005	0.07
		甲苯	0.003		0.0002	0.03
		二甲苯	0.02		0.001	0.13
		乙苯	0.024		0.001	0.13
		苯乙烯	0.00002		0.000001	0.0001
		氯苯类	0.04		0.002	0.27
		氯乙烯	0.09		0.005	0.67
原位化学氧化高压旋喷废气	P ₃₋₁ 、P ₃₋₂ (15m)	VOCs	0.29	2000	0.12	60
		苯	0.0003		0.00012	0.06
		甲苯	0.000002		0.0000008	0.0004
		二甲苯	0.0006		0.00024	0.12
		乙苯	0.0013		0.00052	0.26
		苯乙烯	0.000002		0.0000008	0.0004
		氯苯类	0.000009		0.0000036	0.0018
		氯乙烯	0.005		0.002	1
原位化学还原高压	P ₄₋₁ 、P ₄₋₂ (15m)	VOCs	0.29	2000	0.12	60
		苯	0.0003		0.00012	0.06

旋喷废气		甲苯	0.000002		0.0000008	0.0004
		二甲苯	0.0006		0.00024	0.12
		乙苯	0.0013		0.00052	0.26
		苯乙烯	0.000002		0.0000008	0.0004
		氯苯类	0.000009		0.0000036	0.0018
		氯乙烯	0.005		0.002	1
第三阶段						
移动大棚 开挖废气	P ₅ (15m)	颗粒物	2.6834	24000	0.1342	5.6
		VOCs	1.4		0.56	23.4
		苯	0.0031		0.00124	0.05
		甲苯	0.002		0.0008	0.03
		二甲苯	0.009		0.0036	0.15
		乙苯	0.006		0.0024	0.11
		氯苯类	0.027		0.0108	0.45
		氯乙烯	0.023		0.0092	0.38
密闭大棚 修复废气	P ₆ (15m)	颗粒物	0.04	24000	0.004	0.17
		VOCs	2.49		1.0	41.7
		苯	0.003		0.0012	0.05
		甲苯	0.002		0.0008	0.03
		二甲苯	0.01		0.004	0.17
		乙苯	0.007		0.003	0.13
		氯苯类	0.03		0.012	0.5
		氯乙烯	0.024		0.01	0.42

5.5.1.2 无组织废气

5.5.1.2.1 扬尘

(1) 施工扬尘

①第一阶段，准备阶段施工扬尘。

项目在建设基础设施阶段，会对土体有一定的开挖工序，施工过程均会中会产生一定量的扬尘。现场配置洒水车及雾炮机，施工过程中按照实际按需洒水，进行湿式作业进行扬尘的控制，以减少对环境的影响。

本项目钢结构大棚等临时设施建设、拆除过程中，会有一定的扬尘产生，在进行施工过程中需作好洒水抑尘工作，并且分阶段安排施工，避免大规模作业集中产生大量的扬尘。

②第二阶段，清挖、回填扬尘

对于是以土壤开挖、回填等为主要工作内容的修复治理工程阶段，土壤在挖填、装卸和堆放等过程产生的扬尘。

③第三阶段：抽提井等打井布管施工扬尘

本项目第三阶段主要为原位修复期，修复前打井、布管施工期间，会有一些量的扬尘产生。该施工过程中使用雾炮进行洒水，同时对打井区域地面进行洒水控制湿度。通过以上方式进行扬尘的控制，以减少对环境的影响。

（2）道路扬尘

在同样的路面情况下，车速越快，扬尘量越大；在同样的车速情况下，路面粉尘越大，扬尘量越大。因此，限速行驶及保持路面清洁是减少扬尘产生的有效手段。

5.5.1.2.2 施工机械、运输车辆废气

建设单位第一阶段修复期间使用的施工机械主要有挖掘机、运输车辆等，施工机械和运输车辆排放的尾气污染物主要有 CO、NO₂、THC。根据类似工程施工现场监测结果，在距离现场 50m 处，大气环境中 CO、NO₂③小时平均浓度分别为 0.2mg/m³ 和 0.13mg/m³；日平均浓度分别为 0.13 mg/m³ 和 0.062mg/m³，满足《环境空气质量标准》（GB3095-2012）中二级标准要求。

5.5.1.2.3 异味

①第一阶段

第一阶段主要进行办公区及钢结构大棚建设等工程，作业过程中会有土壤的扰动而逸散出的异味，扬尘也可能有异味。主要通过洒水抑尘、喷洒气味抑制剂进行控制。

②第二阶段

第二阶段为止水帷幕建设及原位修复，由于机械设备对土体进行扰动而有异味散发出来。

本项目厂界处建设止水帷幕时，拟采用 2 台打桩机，每台打桩机钻杆处设置密闭集气罩，将下钻过程产生的异味气体引入活性炭吸附装置处理，处理后的异味气体分别经 2 根 15m 高的排气筒 P₁₋₁、P₁₋₂ 有组织排放。

本项目原位热解吸打井、设备安装完成后，地表进行水泥硬化，以控制异味气体从地表逸散。原位热解吸修复期间，高温抽提废气经密闭管道输送至尾气治理设施，采用“三级串联活性炭吸附”装置进行处理后，由 1 根 15m 高的排气筒 P₂ 排放。

本项目原位热解吸修复配套建设尾水处理系统，污水絮凝沉淀后产生的污泥及污泥清理过程中，会有一些的异味产生，通过密闭污水站、喷洒植物除臭剂等方式进行异味的控制。

本项目原位化学氧化修复采用高压旋喷钻机进行，高压旋喷钻机设置密闭集气

罩，将下钻过程产生的异味气体引入活性炭吸附装置处理，处理后的异味气体经 2 根 15m 高的排气筒 P₃₋₁、P₃₋₂ 有组织排放。原位化学氧化每次施工完成后，及时对地表进行覆盖，控制异味气体的逸散。

本项目原位化学还原修复采用高压旋喷钻机进行，高压旋喷钻机设置密闭集气罩，将下钻过程产生的异味气体引入活性炭吸附装置处理，处理后的异味气体经 2 根 15m 高的排气筒 P₄₋₁、P₄₋₂ 有组织排放。原位化学还原每次施工完成后，及时对地表进行覆盖，控制异味气体的逸散。

③第三阶段

第三阶段为原位异地修复，由于机械设备对土体进行扰动而有异味散发出来，产生的扬尘也可能带有异味。

本项目采取分区分层开挖，设置 1 个移动式密闭大棚，开挖过程中异味采取“滤筒除尘+活性炭吸附”装置处理后，由 1 根 15m 高的排气筒 P₅ 排放；每次开挖结束后，铺设 HDPE 膜抑制基坑内有机废气扩散，并将移动大棚转移至下一个开挖区域。开挖出的污染土壤及时采用密封车辆运送至密闭的钢结构大棚内处理或暂存。

本项目钢结构大棚内异位修复过程中可能产生异味，本项目钢结构大棚设置为负压，产生的废气经整体收集后采用“滤筒除尘+活性炭吸附”进行处理后，由 1 根 15m 高的排气筒 P₆ 排放。

5.5.2 废水

本项目产生废水主要为基坑废水、清洗废水、原位热解吸抽提降水、原位热解吸抽提废水及生活污水，其主要产生及收集方式如下表所示：

表 5.5-15 修复期间废水排放情况

废水	最大日产生量 (m ³ /d)	修复期间产生量 (m ³)	水质 (mg/L) *	收集情况	产生阶段	处理方式
基坑排水	30.16	455.99	pH 6~9、COD 133、BOD 45.2、SS 84、氨氮 40.2、苯 0.090、	经排水沟、降水井后，通过泵及地面管道泵入膜蓄水袋内沉淀	第二阶段	经尾水处理系统处理，处理工艺为“调节池+隔油+混凝沉
抽提降水	171.2	6849.37	甲苯 0.071、乙苯 0.287、间&对二甲苯 0.16、氯仿 6.764、三	抽提降水通过管道泵入膜蓄水袋，再泵入尾水处理系统进行处理	第三阶段	

抽提 废水	11.8	2132.222	氯乙烯 12.855、 四氯乙烯 0.42、 1,4-二氯苯 0.072、三氯苯 0.141、石油类 20、锰 5.48、铅 0.126、镍 0.589、 砷 0.241	抽提废水经气液分 离后，通过管道进 入尾水处理系统进 行处理	第三阶段	淀+芬 顿氧化 +砂滤+ 活性炭 吸附”， 处理合 格后排 入市政 污水管 网
清洗、 浇洒 废水	6	1158	SS	清洗废水经清洗台 底部收集槽收集 后，通过泵，泵入 膜蓄水袋内沉淀	第一阶段/ 第二阶段/ 第三阶段/ 第四阶段	
生活 废水	每人 40L/d	586.5	pH 6~9、COD 350、BOD 180 SS150、氨氮 80、总氮 60、总 磷 2、动植物油 1	经化粪池+隔油池 处理	第一阶段/ 第二阶段/ 第三阶段/ 第四阶段	通过生 活污水 排口排 放

注：*基坑排水、泥浆尾水、抽提降水、抽提废水等水质参考本场地地下水水质。本次评价地下水水质中 COD、BOD、SS、氨氮水质参考场地中试验修复期间抽提废水的水质，其他污染因子水质参考《天津市西青区化学试剂一厂地块场地环境详细调查及风险评估报告》中地下水水质检测平均值。

5.2.3 噪声

本项目施工期主要分为四个阶段，其中第四阶段为验收移交阶段，施工期噪声污染主要来源于前三个阶段。

第一阶段：施工和技术准备阶段，主要工作内容为对现场设置办公区、生活区、待检场、配药站、密闭式修复车间、尾水尾气处理系统、洗车池建设。

第二阶段：原位修复阶段及止水帷幕施工阶段，主要施工内容为采用原位热解吸技术、原位化学氧化、原位化学还原技术对场地土壤及地下水进行修复，并对场地西测和南侧厂界进行阻隔止水帷幕施工。

第三阶段：异位解吸施工阶段，主要施工内容为采用异位解吸修复对浅层土壤进行开挖、异位修复、回填等。

根据施工计划，第二、第三阶段部分施工内容存在同时进行的阶段。

(1) 第一阶段

该阶段噪声主要来自施工机械的非连续作业噪声。第一阶段主要噪声设备如下表所示：

表 5.5-16 第一阶段噪声源强汇总

序号	设备名称	台数	噪声源强 dB (A)	使用区域	产生情况	降噪措施
1	汽车吊	2	80	厂界四周及东侧	间歇, 夜间不施工	低噪声设备及围挡
2	履带吊	2	80	厂界四周及东侧	间歇, 夜间不施工	低噪声设备及围挡
3	压路机	2	80	厂界四周及东侧	间歇, 夜间不施工	低噪声设备及围挡
4	挖掘机	2	80	厂界四周及东侧	间歇, 夜间不施工	低噪声设备及围挡
5	运输车	2	80	场地内	间歇, 夜间不施工	低噪声设备及围挡
6	切割机	2	95	场地内	间歇, 夜间不施工	低噪声设备及围挡
7	气割机	2	100	场地内	间歇, 夜间不施工	低噪声设备及围挡
8	电焊机	4	90	场地内	间歇, 夜间不施工	低噪声设备及围挡

(2) 第二阶段

第二阶段主要为原位修复及止水帷幕施工阶段, 主要噪声源为原位修复前布井施工以及抽提、注药作业、废气治理设施运行产生的噪声。第二阶段还包括止水帷幕阻隔墙的建设, 阻隔墙位于场地四侧, 施工期主要噪声来自于非连续性作业噪声。第二阶段主要噪声设备如下表所示:

表 5.5-17 第二阶段噪声源强汇总

序号	设备名称	台数	噪声源强 dB (A)	使用区域	产生情况	隔声措施
原位热解吸施工						
1	抽提泵	1	85	场地内	连续, 24h 施工	基础减振
2	GeoProbe® 钻机	1	90	场地内	间歇, 夜间不施工	基础减振
3	尾气处理系统 (风机)	1	85	场地中部	连续运行	基础减振, 隔声罩
4	尾水处理设施	1	80	场地中部	连续运行	基础减振
5	冷却塔	1	80	场地中部	连续运行	基础减振
原位化学氧化施工						
1	引孔钻机	1	90	场地内及厂界	间歇, 夜间不施工	基础减振
2	高压旋喷钻机	2	90	场地内及厂界	间歇, 夜间不施工	
3	高压注射泵	2	85	场地内及厂界	间歇, 夜间不施工	基础减振
4	空气压缩机	2	85	场地内及厂界	连续, 24h 施工	基础减振
原位化学还原施工						
1	引孔钻机	1	90	场地内及厂界	间歇, 夜间不施工	基础减振
2	高压旋喷注射钻机	2	90	场地内及厂界	间歇, 夜间不施工	基础减振
止水帷幕施工						

1	挖掘机	1	80	厂界四周	间歇，夜间不施工	无
2	三轴搅拌桩机	2	80	厂界四周	间歇，夜间不施工	无
3	吊机	2	80	厂界四周	间歇，夜间不施工	无
4	压浆泵	2	80	厂界四周	间歇，夜间不施工	无
5	空压机	2	85	厂界四周	间歇，夜间不施工	无
6	灰浆搅拌机	1	85	厂界四周	间歇，夜间不施工	无

(3) 第三阶段

第三阶段主要为 0~2m 层污染土壤开挖及修复工 序。主要采用边开挖、边修复、边回填的施工方式，主要噪声来自于非连续性作业噪声和废气治理设施运行时风机噪声等。第三阶段主要噪声设备如下表所示：

表 5.5-18 第三阶段噪声源强汇总

序号	设备名称	台数	噪声源强 dB (A)	使用区域	产生情况	隔声措施
污染土壤开挖、修复、回填						
1	挖掘机	1	80	厂区东南侧	间歇，夜间不施工	移动大棚 内开挖，场 界围挡
2	ALLU	1	80	厂区东南侧	间歇，夜间不施工	
3	专业解吸设备	1	80	厂区东南侧	间歇，夜间不施工	场界围挡
4	尾气处理设备（风机）	1 套	85	厂区东南侧	间歇，夜间不施工	基础减振

5.5.4 固体废物

(1) 生活垃圾

本次评价生活垃圾按照平均 0.5kg/人·d 计算。本工程开工日期为 2018 年 3 月 2 日，预计 2023 年 7 月 23 日完成竣工验收工作。人员安排根据各时期的工作量情况进行安排，其中 2018 年 3 月 2 日~2018 年 9 月 20 日，为本项目准备阶段，主要进行土方施工、设备安装及技术准备工作，约 18 个月，工作人员最多为 30 人/月。2020 年 9 月 1 日~2021 年 6 月 29 日，为项目实施阶段，约 10 个月，工作人员最多为 30 人/月。2021 年 6 月 30 日~2023 年 7 月 23 日，为竣工验收阶段，约 25.5 个月，工作人员最多为 20 人/月。由上计算，本项目施工期间生活垃圾预计产生量约为 20.25t，由城管委进行清运。

(2) 土壤渣块

本项目异位修复污染土壤预处理过程中产生土壤渣块，按处理土壤量的 5%计算，产生量约为 592.77t，该渣块经冲洗后，按建筑垃圾运至当地指定建筑垃圾堆放点。

(3) 废活性炭

本项目废活性炭主要产生于修复第二阶段和第三阶段；本项目共设置 7 套活性炭吸附装置和 1 套“活性炭吸附+再生”装置用于处理修复工程中产生的污染废气。下面分别计算本项目修复过程中每套活性炭吸附装置产生的废活性炭的产生量及更换频次等。

1) 止水帷幕施工

本项目止水帷幕施工拟采用 2 套三轴搅拌桩机，每台桩机各配套 1 套小型活性炭吸附装置。根据工程分析，本项目止水帷幕施工废气产生源强 0.018kg/h，根据施工计划，止水帷幕施工时间为 30 天，每天工作 8h，则施工期间废气产生量为 4.32kg。根据修复单位提供的资料，活性炭装置填充量约 0.5t，本次评价按 1kg 活性炭能吸附 0.3kg 有机废气计算，则止水帷幕施工期间每套活性炭修复装置能吸附的有机废气为 150kg，因此本项目止水帷幕施工期间 2 套活性炭吸附装置无需更换。

2) 原位热解吸施工

本项目原位热解吸修复产生的抽提废气经密闭管道输送至三级活性炭吸附装置（其中第一级活性炭系统为吸附+再生装置，第二级和第三级系统为吸附装置）。根据工程分析，本项目原位热解吸施工废气产生源强为 6.75kg/h。根据施工计划，原位热解吸施工时间为 215 天，每天工作 24h，则废气产生量为 34.8t。根据修复单位提供的资料，第一级活性炭装置填充量约 3.0t，按 1kg 活性炭能吸附 0.3kg 有机废气计算，则第一级活性炭再生频次为： $3t \times 1000kg/t \times 0.3 / 6.75kg/h = 133h \approx 5.5d$ 。以活性炭吸附效率 60%计，则进入第二级活性炭吸附装置的源强为 2.7kg/h。根据修复单位提供的资料，第二级活性炭装置填充量约 2.52t，按 1kg 活性炭能吸附 0.3kg 有机废气计算，第二级活性炭的更换频次为： $2.52t \times 1000kg/t \times 0.3 / 2.7kg/h = 280h = 11.6d$ ，原位热解吸修复时间为 215 天，则第二级活性炭更换次数为 $215d / 10.5d = 19$ 次。同理，进入第三级活性炭吸附装置的源强为 1.08kg/h。根据修复单位提供的资料，第三级活性炭装置填充量约 2.52t，按 1kg 活性炭能吸附 0.3kg 有机废气计算，第二级活性炭的更换频次为： $2.52t \times 1000kg/t \times 0.3 / 1.08kg/h = 700h = 29d$ ，原位热解吸修复时间为 215 天，则第二级活性炭更换次数为 $215d / 29d = 8$ 次。

3) 原位化学氧化施工

本项目原位化学氧化施工每台高压旋喷钻机配套 1 套小型活性炭吸附装置。根据工程分析，本项目原位化学氧化施工高压旋喷钻机施工废气产生源强 0.2kg/h，根据施

工计划，原位化学氧化施工时间为 84 天，每天工作 8h，则施工期间废气产生量为 134.4kg。根据修复单位提供的资料，活性炭装置填充量约 0.5t，本次评价按 1kg 活性炭能吸附 0.3kg 有机废气计算，则原位化学氧化施工期间每套活性炭修复装置能吸附的有机废气为 150kg，因此本项目原位化学氧化施工期间 2 套活性炭吸附装置无需更换。

4) 原位化学还原施工

本项目原位化学氧化施工每台高压旋喷钻机配套 1 套小型活性炭吸附装置。根据工程分析，本项目原位化学还原施工高压旋喷钻机施工废气产生源强 0.2kg/h，根据施工计划，原位化学氧化施工时间为 26 天，每天工作 8h，则施工期间废气产生量为 41.6kg。根据修复单位提供的资料，活性炭装置填充量约 0.5t，本次评价按 1kg 活性炭能吸附 0.3kg 有机废气计算，则原位化学还原施工期间每套活性炭修复装置能吸附的有机废气为 150kg，因此本项目原位化学还原施工期间 2 套活性炭吸附装置无需更换。

5) 密闭开挖施工

本项目移动开挖大棚设置 1 套活性炭吸附装置。根据工程分析，本项目移动开挖大棚施工废气产生源强 1.4kg/h，根据施工计划，移动大棚开挖时间为 15 天，每天工作 8h，则施工期间废气产生量为 168kg。根据修复单位提供的资料，活性炭装置填充量约 1.0t，本次评价按 1kg 活性炭能吸附 0.3kg 有机废气计算，则原位化学氧化施工期间活性炭修复装置能吸附的有机废气为 300kg，因此本项目移动大棚施工期间活性炭吸附装置无需更换。

6) 原地异位解吸施工

本项目原地异位解吸车间设置 1 套活性炭吸附装置。根据工程分析，本项目原地异位解吸车间施工废气产生源强 2.49kg/h，根据施工计划，异位解吸车间修复时间为 24 天，每天工作 24h，则施工期间废气产生量为 1.44t。根据修复单位提供的资料，活性炭装置填充量约 2.8t，本次评价按 1kg 活性炭能吸附 0.3kg 有机废气计算，则异位解吸车间施工期间活性炭修复装置能吸附的有机废气为 0.84t，因此本项目异位解吸车间修复施工期间活性炭吸附装置需更换 1 次。

7) 废水处理

本项目尾水处理设施设置 1 套活性炭吸附装置。根据工程分析，本项目废水 COD 浓度约为 133mg/L，根据后文表 7.2-2，进入活性炭吸附装置的 COD 的浓度为

23.83mg/L。根据工程分析，本项目修复期间进入尾水处理设施的废水总量,为11507.582m³，则修复期间进入活性炭吸附装置的污染物总量为 274.2kg。根据修复单位提供的资料，废水处理设施活性炭填装量约为 1.4t，以 1.0kg 活性炭吸附 0.3kg 污染物计算，活性炭吸附装置可吸附的污染物为 420kg，因此本项目修复期间，尾水处理设施活性炭吸附装置无需更换。

综上，本项目修复期间活性炭填装及更换情况如下表所示：

表 5.5-19 废活性炭产生及更换情况一览表

第二阶段							
活性炭设备	处理废气来源	活性炭种类	单次填充量 (t)	废活性炭产生量 t/批次	更换周期 (天)	总周期 (天)	废活性炭产生量 (t)
止水帷幕废气吸附设备 1	止水帷幕施工废气	煤质柱状活性炭	0.5	0.504	无需更换	30	0.504
止水帷幕废气吸附设备 2	止水帷幕施工废气		0.5	0.504	无需更换	30	0.504
原位热解吸吸附设备 (第一级)	原位热解吸抽提废气		6.0 (每组 3.0)	6.0	无需更换	215	6.0
原位热解吸吸附设备 (第二级)			2.52	3.3	11.6	215	62.7
原位热解吸吸附设备 (第三级)			2.52	3.3	29	215	26.4
原位化学氧化废气吸附设备 1	高压旋喷施工废气		0.5	0.63	无需更换	86	0.63
原位化学氧化废气吸附设备 2			0.5	0.63	无需更换	86	0.63
原位化学还原废气吸附设备 1	高压旋喷施工废气		0.5	0.54	无需更换	26	0.54
原位化学还原废气吸附设备 2			0.5	0.54	无需更换	26	0.54

	第三阶段						
移动大棚 吸附设备	充气式移 动大棚开 挖废气	煤质柱状 活性炭	1.0	1.17	无需 更换	15	1.17
密闭修复 车间吸附 设备	固定钢结 构密闭大 棚修复废 气		2.8	4.24	12	24	4.24
	废水处理设施						
水处理设 施	污水处理 站	水相煤质 活性炭	1.4	1.67	无需 更换	345	1.67
合计							105.57

注：本次评价以 1kg 活性炭吸附 0.3kg 有机废气计算。

从上表看出，本次修复工程废活性炭产生量为 105.57t。

（4）废包装材料

修复过程中使用药剂（过硫酸钠、液碱等），污水处理使用的药剂（PAC、PAM、等），其废包装材料产生量约为 2.0t，为危险废物，在危废间暂存后，委托具有相应处理资质的单位处理。

（5）污水处理站污泥

本项目设置一座尾水处理系统，运行过程中产生污泥，本项目预计污泥产生量为 6.5t。污泥经板框压滤机处理后，污泥含水率预计在 80%左右，则干污泥产生量为 5.2t。污泥经密闭包装桶包装后，暂存于危险废物暂存间，定期委托具有相应处理资质的单位处理。压滤后的上清液返回调节池进一步处理。

本项目原位热解吸修复时，经多相分离器分离出的液相经隔油处理产生油泥，预计产生量为 2.5t，为危险废物，采用 200L 密闭包装桶储存，并及时委托具有相应处理资质的单位处理。

（6）除尘灰

第三阶段本项目采用滤筒式除尘器收集开挖过程中产生颗粒物，其收集效率可以达到 90%以上。由于本项目开挖之前进行洒水、雾炮喷射等抑尘手段，所以产尘量较少，预计收集颗粒物总量约为 0.6t。该部分土壤可能会含有污染物，与污染土壤一起清运至异位修复车间进行处置。

（7）泥浆

根据施工经验，泥浆主要产生在三轴搅拌桩施工时，本项目三轴搅拌桩施工量约

为 18870.6m^3 , 泥浆产生量约为三轴搅拌桩施工量的 30%, 则泥浆产生量为 5631.18m^3 。干泥浆产生量约为泥浆产生量的 90%, 预计修复期间干泥浆总产生量为 5068.062m^3 。

(8) 废冷凝液

本项目原位热解吸修复产生的抽提废气经密闭管道输送至三级活性炭吸附装置（其中第一级活性炭系统为吸附+再生装置，第二级和第三级系统为吸附装置）。根据上文计算，原位热解吸修复期间，第一级活性炭吸附的废气量为 34.8t，废气经高温脱附，冷凝后产生废冷凝液。根据修复单位提供的资料，该冷凝装置的回收率约为 98%，则废冷凝液产生量为 $34.8\text{t} \times 98\% = 34.1\text{t}$ 。

六、项目主要污染物产生及预计排放情况

内容 类型	时段	排放源	污染物	处理前产生浓度 及排放量		处理后排放浓度 及排放量	
大气污 染物	修复 期	P ₁₋₁ 、P ₁₋₂	VOCs	0.018 kg/h	9.00mg/m ³	0.0073 kg/h	3.7 mg/m ³
			苯	0.00002 kg/h	0.01 mg/m ³	0.000008 kg/h	0.004 mg/m ³
			甲苯	0.000015 kg/h	0.01 mg/m ³	0.000006 kg/h	0.003 mg/m ³
			二甲苯	0.00007 kg/h	0.04 mg/m ³	0.00003 kg/h	0.014 mg/m ³
			乙苯	0.00005 kg/h	0.03 mg/m ³	0.00002 kg/h	0.01 mg/m ³
			氯苯类	0.0002 kg/h	0.10 mg/m ³	0.00008 kg/h	0.04 mg/m ³
			氯乙烯	0.0002 kg/h	0.10 mg/m ³	0.00008 kg/h	0.04 mg/m ³
		P ₂	VOCs	6.75 kg/h	900.00 mg/m ³	0.41 kg/h	54.7 mg/m ³
			苯	0.008 kg/h	1.07 mg/m ³	0.0005 kg/h	0.07 mg/m ³
			甲苯	0.003 kg/h	0.40 mg/m ³	0.0002 kg/h	0.03 mg/m ³
			二甲苯	0.02 kg/h	2.67 mg/m ³	0.001 kg/h	0.13 mg/m ³
			乙苯	0.024 kg/h	3.20 mg/m ³	0.001 kg/h	0.13 mg/m ³
			苯乙烯	0.00002 kg/h	0.003 mg/m ³	0.000001 kg/h	0.0001 mg/m ³
			氯苯类	0.04 kg/h	5.33 mg/m ³	0.002 kg/h	0.27 mg/m ³
			氯乙烯	0.09 kg/h	12.00 mg/m ³	0.005 kg/h	0.67 mg/m ³
		P ₃₋₁ 、P ₃₋₂ 、 P ₄₋₁ 、P ₄₋₂ 、	VOCs	0.29 kg/h	145.00 mg/m ³	0.12 kg/h	60 mg/m ³
			苯	0.0003 kg/h	0.15 mg/m ³	0.00012 kg/h	0.06 mg/m ³
			甲苯	0.000002 kg/h	0.001 mg/m ³	0.0000008 kg/h	0.0004 mg/m ³
			二甲苯	0.0006 kg/h	0.30 mg/m ³	0.00024 kg/h	0.12 mg/m ³
			乙苯	0.0013 kg/h	0.65 mg/m ³	0.00052 kg/h	0.26 mg/m ³
			苯乙烯	0.000002 kg/h	0.001 mg/m ³	0.0000008 kg/h	0.0004 mg/m ³
			氯苯类	0.000009 kg/h	0.005 mg/m ³	0.0000036 kg/h	0.0018 mg/m ³
			氯乙烯	0.005 kg/h	2.50 mg/m ³	0.002 kg/h	1 mg/m ³
		P ₅	颗粒物	2.6834 kg/h	111.81 mg/m ³	0.1342 kg/h	5.6 mg/m ³
			VOCs	1.4 kg/h	58.33 mg/m ³	0.56 kg/h	23.4 mg/m ³
			苯	0.0031 kg/h	0.13 mg/m ³	0.00124 kg/h	0.05 mg/m ³
			甲苯	0.002 kg/h	0.08 mg/m ³	0.0008 kg/h	0.03 mg/m ³
			二甲苯	0.009 kg/h	0.38 mg/m ³	0.0036 kg/h	0.15 mg/m ³
			乙苯	0.006 kg/h	0.25 mg/m ³	0.0024 kg/h	0.11 mg/m ³

			氯苯类	0.027 kg/h	1.13 mg/m³	0.0108 kg/h	0.45 mg/m³
			氯乙烯	0.023 kg/h	0.96 mg/m³	0.0092 kg/h	0.38 mg/m³
		P ₆	颗粒物	0.04 kg/h	1.67 mg/m³	0.004 kg/h	0.17 mg/m³
			VOCs	2.49 kg/h	103.75 mg/m³	1.0 kg/h	41.7 mg/m³
			苯	0.003 kg/h	0.13 mg/m³	0.0012 kg/h	0.05 mg/m³
			甲苯	0.002 kg/h	0.08 mg/m³	0.0008 kg/h	0.03 mg/m³
			二甲苯	0.01 kg/h	0.42 mg/m³	0.004 kg/h	0.17 mg/m³
			乙苯	0.007 kg/h	0.29 mg/m³	0.003 kg/h	0.13 mg/m³
			氯苯类	0.03 kg/h	1.25 mg/m³	0.012 kg/h	0.5 mg/m³
			氯乙烯	0.024 kg/h	1.00 mg/m³	0.01 kg/h	0.42 mg/m³
			水污 染物	修复期	人员	生活污水	586.5m³
COD	350 mg/L	COD					350 mg/L
BOD	180 mg/L	BOD					180 mg/L
氨氮	30 mg/L	氨氮					30 mg/L
SS	150 mg/L	SS					150 mg/L
动植物油类	1 mg/L	动植物油类					1 mg/L
场地	基坑废水、原位热解吸抽提降水、原位热解吸抽提废水	9437.582m³			9437.582m³		
		COD			133 mg/L	COD	12.0 mg/L
		BOD			45.2mg/L	BOD	4.1 mg/L
		SS			84 mg/L	SS	16 mg/L
		氨氮			40.2 mg/L	氨氮	25.3 mg/L
		苯			0.09 mg/L	苯	0.045 mg/L
		甲苯			0.071 mg/L	甲苯	0.036 mg/L
		乙苯			0.287 mg/L	乙苯	0.14 mg/L
		间&对二甲苯			0.16 mg/L	间&对二甲苯	0.08 mg/L
		氯仿			6.764 mg/L	氯仿	0.40 mg/L
		三氯乙烯			12.855 mg/L	三氯乙烯	0.77 mg/L
		四氯乙烯			0.42 mg/L	四氯乙烯	0.03 mg/L
		1,4-二氯苯			0.072 mg/L	1,4-二氯苯	0.036 mg/L
		三氯苯			0.141 mg/L	三氯苯	0.07 mg/L
		石油类			20 mg/L	石油类	1.2 mg/L
		锰			5.48mg/L	锰	5.48mg/L
		铅			0.126mg/L	铅	0.126mg/L
		镍			0.589mg/L	镍	0.589mg/L
		砷			0.241mg/L	砷	0.241mg/L
	清洗废水	2070m³			2070m³		
		SS			800 mg/L	SS	16mg/L
固体 废 物	修复期	生活	生活垃圾	20.25t		0	
		一般废物	施工泥浆	5068.062t			
			土壤废渣	592.77t			
			除尘灰	0.6t			
		危险废物	废活性炭	105.57t		0	
			油泥	2.5t			

			污泥	5.2t	
			废冷凝液	34.1 t	
			废药剂包装材料	2.0t	
噪声	修复期	噪声运营主要来自各阶段施工机械、风机、冷却塔等，预计噪声源强 80~90 dB(A) 。			
主要生态影响： 本项目在场地内进行土壤修复，厂区内目前已完成拆迁，本项目施工期间不占用厂外道路，不破坏绿化用地等。本项目在清除土壤污染物后，该地区土壤用于住宅，会起到一定改善生态环境的作用，因此本项目整体来说对生态环境有着积极的意义。					

七、环境影响分析

修复期环境影响简要分析

7.1 废气

7.1.1 废气影响分析

(1) 污染物达标论证

本项目止水帷幕施工过程中产生的废气经 2 套三轴搅拌桩机钻杆周围的集气罩收集后，分别进入配套的活性炭吸附装置处理后，分别由 2 根由 15m 高的排气筒 P₁₋₁、P₁₋₂ 排放。

本项目原位热解吸修复过程中产生的废气经密闭管道送至三级串联活性炭吸附装置进行处理（其中第一级为活性炭脱附再生装置，第二级和第三级为活性炭吸附装置），处理后废气通过 15m 高排气筒 P₂ 排放。

本项目原位化学氧化修复设置 2 台高压旋喷钻机，施工完成后对场地进行覆盖，施工过程中产生的废气分别引入 2 套活性炭吸附装置处理后，分别由 2 根由 15m 高的排气筒 P₃₋₁、P₃₋₂ 排放。

本项目原位化学还原修复设置 2 台高压旋喷钻机，施工完成后对场地进行覆盖，施工过程中产生的废气分别引入 2 套活性炭吸附装置处理后，分别由 2 根由 15m 高的排气筒 P₄₋₁、P₄₋₂ 排放。

本项目清挖时设置 1 座充气式移动密闭大棚，开挖工序在大棚内进行。作业时，大棚呈密闭状态，大棚配备一套送风及引风装置，使大棚保持微负压状态，废气通过集气装置收集后通入“滤筒除尘+活性炭吸附”设施进行处理，处理后通过 15m 高排气筒 P₅ 排放。

本项目 0-2m 区域的污染土壤清挖后，运至厂区内密闭大棚内进行异位修复。本项目设置 1 座钢结构密闭大棚。作业时，大棚程密闭状态，大棚配备一套送风及引风装置，使大棚保持微负压状态，废气通过集气装置收集后进入“滤筒除尘+活性炭吸附”设施进行处理，处理后废气通过 15m 高排气筒 P₆ 排放。

本项目修复期间废气排放情况如下表所示：

表 7.1-1 本项目修复期间废气排放情况一览表

污染源	排气筒 编号	污染因子	排放速率 kg/h	排放浓度 mg/m ³	标准值		达标 情况
					排放速率 kg/h	排放浓度 mg/m ³	
止水帷幕 施工 废气	P ₁₋₁ 、P ₁₋₂ (15m)	VOCs*	0.0073	3.7	1.0	80	达标
		苯*	0.000008	0.004	0.125	1.0	达标
		甲苯*	0.000006	0.003	甲苯二甲 苯合计 0.5	甲苯二甲 苯合计 40	达标
		二甲苯*	0.00003	0.014			达标
		乙苯	0.00002	0.01	1.5	/	达标
		氯苯类*	0.00008	0.04	0.26	60	达标
		氯乙烯*	0.00008	0.04	0.385	36	达标
		臭气浓度	<1000 (无量纲)		1000 (无量纲)		达标
原位 热解 吸抽 提废 气	P ₂ (15m)	VOCs*	0.41	54.7	1.0	80	达标
		苯*	0.0005	0.07	0.125	1.0	达标
		甲苯*	0.0002	0.03	甲苯二甲 苯合计 0.5	甲苯二甲 苯合计 40	达标
		二甲苯*	0.001	0.13			达标
		乙苯	0.001	0.13	1.5	/	达标
		苯乙烯	0.000001	0.0001	1.5	/	达标
		氯苯类*	0.002	0.27	0.26	60	达标
		氯乙烯*	0.005	0.67	0.385	36	达标
		臭气浓度	<1000 (无量纲)		1000 (无量纲)		达标
原位 化学 氧化 高压 旋喷 废气	P ₃₋₁ 、P ₃₋₂ (15m)	VOCs*	0.12	60	1.0	80	达标
		苯*	0.00012	0.06	0.125	1.0	达标
		甲苯*	0.0000008	0.0004	甲苯二甲 苯合计 0.5	甲苯二甲 苯合计 40	达标
		二甲苯*	0.00024	0.12			达标
		乙苯	0.00052	0.26	1.5	/	达标
		苯乙烯	0.0000008	0.0004	1.5	/	达标
		氯苯类*	0.0000036	0.0018	0.26	60	达标
		氯乙烯*	0.002	1	0.385	36	达标
		臭气浓度	<1000 (无量纲)		1000 (无量纲)		达标
原位 化学 还原 高压 旋喷 废气	P ₄₋₁ 、P ₄₋₂ (15m)	VOCs*	0.12	60	1.0	80	达标
		苯*	0.00012	0.06	0.125	1.0	达标
		甲苯*	0.0000008	0.0004	甲苯二甲 苯合计 0.5	甲苯二甲 苯合计 40	达标
		二甲苯*	0.00024	0.12			达标
		乙苯	0.00052	0.26	1.5	/	达标
		苯乙烯	0.0000008	0.0004	1.5	/	达标
		氯苯类*	0.0000036	0.0018	0.26	60	达标
		氯乙烯*	0.002	1	0.385	36	达标
		臭气浓度	<1000 (无量纲)		1000 (无量纲)		达标
移动 大棚 开挖 废气	P ₅ (15m)	颗粒物*	0.1342	5.6	1.75	120	达标
		VOCs*	0.56	23.4	1.0	80	达标
		苯*	0.00124	0.05	0.125	1.0	达标
		甲苯*	0.0008	0.03	甲苯二甲 苯合计	甲苯二甲 苯合计	达标
		二甲苯*	0.0036	0.15			达标

					0.5	40			
		乙苯	0.0024	0.11	1.5	/	达标		
		氯苯类*	0.0108	0.45	0.26	60	达标		
		氯乙烯*	0.0092	0.38	0.385	36	达标		
		臭气浓度	<1000 (无量纲)		1000 (无量纲)				达标
密闭 大棚 修复 废气	P ₆ (15m)	颗粒物*	0.004	0.17	1.75	120	达标		
		VOCs*	0.5	20.8	1.0	80	达标		
		苯*	0.0006	0.03	0.125	1.0	达标		
		甲苯*	0.0004	0.02	甲苯二甲 苯合计 0.5	甲苯二甲 苯合计 40	达标		
		二甲苯*	0.002	0.08			达标		
		乙苯	0.002	0.08	1.5	/	达标		
		氯苯类*	0.006	0.25	0.26	60	达标		
		氯乙烯*	0.005	0.21	0.385	36	达标		
		臭气浓度	<1000 (无量纲)		1000 (无量纲)		达标		

注：*本项目排气筒周边 200m 最高建筑物为密闭钢结构大棚，最高处为 13m，排气筒设置高度不满足高出周围 200m 半径范围的建筑 5m 以上的要求，最高排放速率严格 50%执行。

从上表可知，本项目实施期间，各排气筒排放的废气可实现达标排放，其中挥发性有机废气苯、甲苯、二甲苯、VOCs 排放速率及排放浓度均可满足《天津市工业企业挥发性有机物排放标准》(DB12/524-2014) 中表 2“其他行业”相关限值要求，颗粒物、氯乙烯、氯苯类的排放浓度和排放速率均满足《大气污染物综合排放标准》(GB16297-1996) 中表 2 相关限值要求，苯乙烯、乙苯、臭气浓度排放速率可满足《恶臭污染物排放标准》(DB12/059-2018) 中表 1 相关限值要求。

(2) 等级判定

①污染物的 P_{max} 和 D_{10%} 预测

根据《环境影响评价技术导则-大气环境》(HJ2.2-2018)，本次评价采用推荐的 AERSCREEN 估算模型对本项目评价等级进行判定。根据前述工程分析，本项目筛选出的评价因子如下表所示：

表 7.1-2 评价因子和评价标准表

评价因子	评价时段	标准值 (mg/m ³)	标准来源
颗粒物	运营期	0.45	《环境空气质量标准》 (GB3095-2012)
苯	运营期	0.11	《环境影响评价技术导则大气环境》(HJ2.2-2018) 附录 D
甲苯	运营期	0.2	
二甲苯	运营期	0.2	
苯乙烯	运营期	0.01	
VOCs	运营期	1.2	《环境影响评价技术导则大气环境》(HJ2.2-2018) 附录 D“8h 平均折算为 1h 平

			均”
--	--	--	----

本项目估算模型参数选取情况如下表所示：

表 7.1-3 估算模型参数表

参数		取值
城市/农村选项	城市/农村	城市
	人口数（城市选项时）	87 万（西青区）
最高环境温度（℃）		40.5
最低环境温度（℃）		-18.1
土地利用类型		城市
区域湿度条件		中等湿度气候
是否考虑地形	考虑地形	不考虑
	地形数据分辨率/m	——
是否考虑岸线熏烟	考虑岸线熏烟	不考虑
	岸线距离/m	——
	岸线方向/°	——

本项目涉及主要污染源参数如下表所示：

表 7.1-4 估算模型参数表

排气筒编号	坐标/m		排气筒底部海拔高度 m	排气筒高度 m	内径 m	排气温度℃	烟气流速 m/s	排放小时数 /h	排放工况	污染物	排放速率 kg/h
	X	Y									
P ₁₋₁ 、 P ₁₋₂	/	/	6	15	0.5	25	2.83	8	间歇排放	VOCs	0.0073
										苯	0.000008
										甲苯	0.000006
										二甲苯	0.000003
P ₂	117.12 4442	39.10 1681	6	15	0.5	50	10.62	24	连续排放	苯	0.0005
										甲苯	0.0002
										二甲苯	0.001
										苯乙烯	0.000001
										VOCs	0.41
P ₃₋₁ 、 P ₃₋₂	/	/	6	15	0.5	25	2.83	8	间歇排放	VOCs	0.12
										苯	0.00012
										甲苯	0.0000008
										二甲苯	0.00024
										苯乙烯	0.0000008
P ₄₋₁ 、 P ₄₋₂	/	/	6	15	0.5	25	2.83	8	间歇排放	VOCs	0.12
										苯	0.00012
										甲苯	0.0000008
										二甲苯	0.00024
										苯乙烯	0.0000008
P ₅	/	/	4	15	0.7	25	17.33	8	间	颗粒物	0.1342
										VOCs	0.56

									歇 排 放	苯	0.00124
										甲苯	0.0008
										二甲苯	0.0036
P ₆	117.12 4423	39.10 0388	5	15	0.8	25	13.27	24	连 续 排 放	颗粒物	0.004
										VOCs	0.5
										苯	0.0006
										甲苯	0.0004
										二甲苯	0.002

本项目 Pmax 和 D10%预测结果如下表所示：

表 7.1-5 Pmax 和 D10%预测结果一览表

污染源名称	评价因子	评价标准 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cmax($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Pmax(%)	下风向最大浓度出现距离(m)
P ₁₋₁ 、P ₁₋₂	TVOC	1200.0	1.0533	0.0878	16
	苯	110	0.0012	0.001	
	甲苯	200	0.0009	0.0004	
	二甲苯	200	0.0043	0.0022	
P ₂	TVOC	1200.0	19.88	1.6567	20
	苯	110	0.0242	0.022	
	甲苯	200	0.097	0.0485	
	二甲苯	200	0.0485	0.0242	
	苯乙烯	10	0	0.0005	
P ₃₋₁ 、P ₃₋₂	TVOC	1200.0	17.31	1.4425	16
	苯	110	0.0173	0.0157	
	甲苯	200	0.0001	0.0001	
	二甲苯	200	0.0346	0.0173	
	苯乙烯	10	0.0001	0.0012	
P ₄₋₁ 、P ₄₋₂	TVOC	1200.0	17.31	1.4425	16
	苯	110	0.0173	0.0157	
	甲苯	200	0.0001	0.0001	
	二甲苯	200	0.0346	0.0173	
	苯乙烯	10	0.0001	0.0012	
P ₅	TVOC	1200.0	34.25	2.8542	56
	苯	110	0.0758	0.0689	
	甲苯	200	0.0489	0.0245	
	二甲苯	200	0.2202	0.1101	
	PM10	450	8.2078	1.8239	
P ₆	TVOC	1200.0	30.574	2.5478	28
	苯	110	0.0367	0.0334	
	甲苯	200	0.0245	0.0122	
	二甲苯	200	0.1223	0.0611	
	PM10	450	0.2446	0.0544	

从上表看出，本项目 Pmax 最大值出现为 P₅ 排放的 TVOC，Pmax 值为 2.8542%，Cmax 为 34.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，根据《环境影响评价技术导则 大气环境》

(HJ2.2-2018) 分级判据，确定本项目大气环境影响评价工作等级为二级。

②废气对周边环境保护目标的影响

本项目施工图和 200m 范围内敏感目标图如下图 7.1-1、7.1-2 所示：

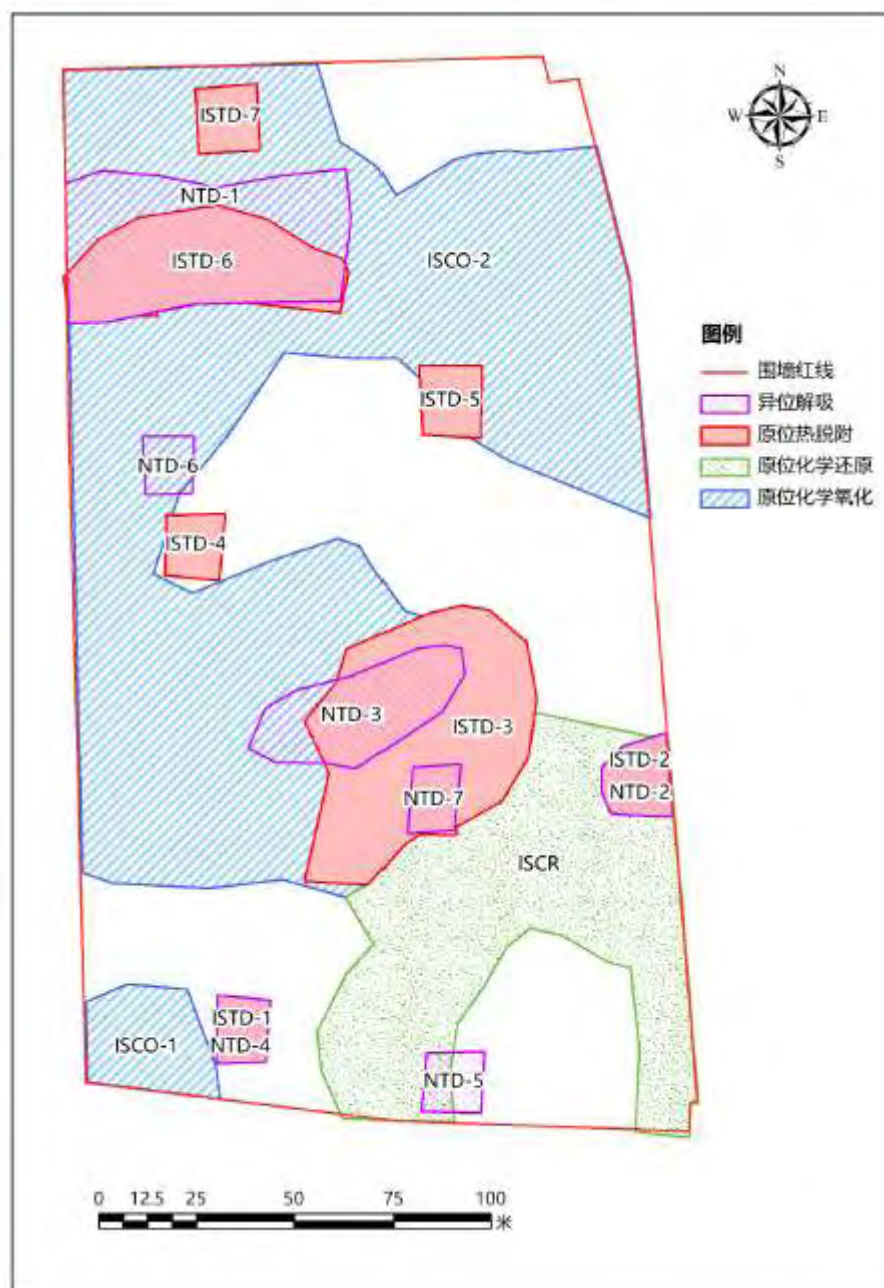


图 7.1-1 本场地施工图



图 7.1-2 本项目 200m 范围内敏感目标分布图

本项目第二阶段为原位修复，涉及的排气筒为 P_{1-1} 、 P_2 、 P_{3-1} 、 P_{3-2} 、 P_{4-1} 和 P_{4-2} ，第三阶段为原地异位修复，涉及的排气筒为 P_5 和 P_6 。根据施工计划，第二阶段施工完成后进行第三阶段施工，因此第二阶段和第三阶段施工不存在同时施工，本评价分别分析对第二阶段和第三阶段对敏感目标的影响。

第二阶段施工

根据本场地施工图（图 7.1-1），结合本项目周围 200m 范围内敏感目标的分布图（图 7.1-2），可以看出，当在厂界南侧建设止水帷幕、原位化学氧化在南侧厂界处施工和原位化学还原在南侧厂界处施工时， P_1 、 P_3 、 P_4 排气筒距离南侧敏感目标原公安局宿舍、利海家园距离最近，其排放的污染物可能会对其产生影响。当在厂界南侧建设止水帷幕、原位化学氧化在东侧厂界处施工和原位化学还原在南侧厂界处施工时， P_1 、 P_3 、 P_4 排气筒距离东侧敏感盈江西里距离最近，可能会对其产生影响。当在厂界南侧建设止水帷幕、原位化学氧化在东侧厂界处施工和原位化学还原在南侧厂界处施工时， P_1 、 P_3 、 P_4 排气筒距离北侧的敏感目标天津市第一医院（在建）距离最近，可能会对其产生影响。第二阶段施工时，各排气筒距离各敏感目标最近时，对环保目标的影响如下表所示：