

[注意保密]

# 南京国海生物工程有限公司原厂址地块 场地修复技术方案

委托单位：南京新材料产业园管理委员会

编制单位：南京工大环境科技有限公司

二零一九年五月

## 目 录

1 总论.....	3
1.1 任务由来.....	3
1.2 修复技术方案编制依据.....	5
1.3 修复技术方案编制原则.....	7
1.4 修复技术方案编制范围.....	8
1.5 修复技术方案技术路线.....	8
2 场地问题识别.....	<b>错误！未定义书签。</b>
2.1 所在区域概况.....	错误！未定义书签。
2.2 场地基本信息.....	错误！未定义书签。
2.3 场地环境特征.....	错误！未定义书签。
2.4 场地污染状况调查分析.....	错误！未定义书签。
2.5 场地污染风险评估结果.....	错误！未定义书签。
3 场地修复模式.....	<b>错误！未定义书签。</b>
3.1 修复总体思路.....	错误！未定义书签。
3.2 关注污染物及修复目标确认.....	错误！未定义书签。
3.3 场地修复范围确认.....	错误！未定义书签。
3.4 场地修复模式选择.....	错误！未定义书签。
4 场地修复技术筛选.....	<b>错误！未定义书签。</b>
4.1 场地污染土壤修复技术筛选.....	错误！未定义书签。
4.2 场地污染地下水修复技术筛选.....	错误！未定义书签。
4.3 修复技术筛选结果.....	错误！未定义书签。
5 场地修复方案设计.....	11
5.1 总体技术路线.....	11
5.2 修复工程总体规划设计.....	13
5.3 开挖土壤预处理.....	16
5.4 土壤修复方案设计.....	17
5.5 水处理方案设计.....	20
5.5.1 地下水修复方案.....	20

5.5.2 地下水修复工艺参数.....	21
5.5.3 污水来源及污水量.....	22
5.5.4 污水处理工艺设计.....	23
<b>6 环境管理计划.....</b>	<b>错误！未定义书签。</b>
6.1 编制原则.....	错误！未定义书签。
6.2 环境管理体系.....	错误！未定义书签。
6.3 二次污染防治.....	错误！未定义书签。
6.4 修复工程环境监理.....	错误！未定义书签。
6.5 场地环境监测计划.....	错误！未定义书签。
6.6 环境应急安全预案.....	错误！未定义书签。
<b>7 成本效益分析.....</b>	<b>26</b>
7.1 修复费用.....	26
7.2 环境效益、经济效益、社会效益.....	28
<b>8 施工进度与安排.....</b>	<b>29</b>
<b>9 结论与建议.....</b>	<b>30</b>
9.1 结论.....	30
9.2 问题和建议.....	31

# 1 总论

## 1.1 任务由来

南京国海生物工程有限公司原址地处南京新材料产业园玉带片区北部，长芦片东南，瓜埠镇以东，管家凹以西，分布于县道704西端两旁，总占地面积约78.2亩。该区域原为丘陵，由于从上世纪五六十年代开始，部分区域由于矿山开采，遗留大量的采矿矿坑。目前地块内企业已拆除搬迁完毕。根据《南京市瓜埠生态廊道果园片区控制性规划》瓜埠果园片区定位为：南京化工园配套服务的重要第三产业服务区，即一个集商务、配套生活服务等多功能为一体的配套服务区。根据南京市瓜埠生态廊道果园片区控制性规划，国海生物企业原厂址地块规划为住宅用地或康旅用地。

按照《环境保护部关于加强工业企业关停、拆迁和原址场地在开发利用过程中污染防治工作的通知（环发〔2014〕66号）》、《土壤污染防治行动计划》（国发〔2016〕31号）、《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（环境保护部〔2016〕42号令）、《省政府关于印发江苏省土壤污染防治工作方案的通知》（苏政发〔2016〕169号）、《市政府关于印发南京市土壤污染防治行动计划的通知》（宁政发〔2017〕67号）等国家、地方有关法规要求，原工业企业退役场地改变用途时需对场地开展环境调查，明确是否存在污染、污染程度，判断是否需要开展人体健康风险评估及修复。为达到上述目的，受南京新材料产业园管理委员会委托，我单位（南京工大环境科技有限公司）开展了该场地环境初步调查、详细调查和风险评估工作，并于2017年9月21日在南京市环保局进行了备案（见图1-1）。

2018年11月，我单位又受南京新材料产业园管理委员会委托，按照国家相关标准、技术规范要求，在场地环境调查和风险评估结果基础上，基于该场地污染特征、土地利用规划、区域环境特征及成熟的污染土壤修复技术方法，编制了《南京国海生物工程有限公司原厂址地块场地修复技术方案》。

## 南京市污染地块土壤环境管理备案告知书

宁环土备〔2017〕033号

南京新材料产业园管理委员会：

你单位提交的南京国海生物工程有限公司地块环境调查及风险评估报告和专家咨询意见等备案文件、资料收悉，经审核，符合备案要求，现予以备案。

依据相关法规，你单位对上述文件的真实性负责，此备案仅表明你单位已经开展了上述工作，不作为环境调查或治理修复质量的评判依据。

受理人：陈晟

联系电话：83630891



图1-1 备案通知书

## 1.2 修复技术方案编制依据

### 1.2.1 国家相关法律、法规、政策

1. 《中华人民共和国环境保护法》，2014年4月24日修订通过，2015年1月1日起施行；
2. 《中华人民共和国土壤污染防治法》，2018年8月31日通过，2019年1月1日起施行。
3. 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，2004年12月29日修订通过，2005年4月1日起施行；
4. 《中华人民共和国土地管理法》，1998年8月29日修订通过，1999年1月1日起施行；
5. 《中华人民共和国水污染防治法》，2017年6月27日修订通过，2018年1月1日起施行；
6. 《水污染防治行动计划》（国发〔2015〕17号）；
7. 《土壤污染防治行动计划》（国发〔2016〕31号）；
8. 《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》（环办〔2004〕47号），2004年6月1日；
9. 《废弃危险化学品污染环境防治办法》，国家环境保护总局令（第27号），2005年8月30日颁布，自2005年10月1日起施行；
10. 《全国土壤污染状况评价技术规定》（环发〔2008〕39号），国家环境保护部，2008年5月19日；
11. 《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》环发〔2012〕140号；
12. 《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》（环发〔2014〕66号）；
13. 《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（国家环境保护部，部令 第42号，2016年12月31日）；
14. 《江苏省环境保护条例》（1993年12月29日江苏省第八届人民代表大会常务委员会第三次会议通过）；
15. 江苏省人大常委会关于修改《江苏省环境保护条例》的决定（1997年7月31日江苏省第八届人民代表大会常务委员会第二十九次会议通过）；

16. 《中共江苏省委江苏省人民政府关于加强生态环境保护 and 建设的意见》苏发〔2003〕7号，2003年4月14日；

17. 《江苏省固体废弃物污染环境防治条例》（公告第29号），江苏省人大常委会，2009年9月23日；

18. 《市政府关于印发南京市土壤污染防治行动计划的通知》（苏宁政发〔2017〕67号）；

19. 《江苏省土壤污染防治工作方案》（苏政发〔2016〕169号，2016年12月27日）；

20. 《中华人民共和国环境影响评价法》，2016年7月2日修订通过，2016年9月1日起施行；

### 1.2.2 技术导则、标准及规范

1. 《建筑施工场界环境噪声测量方法》（GB12349，1990）；
2. 《建筑施工场界环境噪声排放标准》（GB12523，2011）；
3. 《建筑施工场界噪声限值》（GB12523，1990）；
4. 《工作场所有害因素职业接触限值化学有害因素》（GBZ21，2007）；
5. 《水质采样技术指导》（HJ494，2009）；
6. 《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T 31962，2015）
7. 《地下水水质标准》（DZ/T 0290，2015）
8. 《大气污染物综合排放标准》（DB11/501，2007）；
9. 《环境空气质量标准》（GB 3095，2012）；
10. 《空气和废气监测分析方法》（第四版，2007）；
11. 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》（GB50202，2002）；
12. 《建筑边坡工程技术规范》（GB50330，2002）；
13. 《工程测量规范》（GB50026，2007）；
14. 《环境空气质量手工质量手工检测技术规范》（HJ/T194，2005）；
15. 《固定源废气监测技术规范》（HJ/T397，2007）；
16. 《污染场地修复验收技术规范》（DB11/T783，2011）；
17. 《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T91，2002）；
18. 《地下水环境监测技术规范》（HJ/T164，2004）；
19. 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》（2014）；

20. 《土壤环境监测技术规范》（HJ/T166，2004）；
21. 《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120，2012）；
22. 《建筑桩基技术规范》（JGJ94，2008）；
23. 《建筑与市政降水工程技术规范》（JGJ/T111，1998）；
24. 《建筑施工安全检查标准》（JGJ59，2011）；
25. 《建筑机械使用安全技术规程》（JGJ33，2012）；
26. 《施工现场临时用电安全技术规范》（JGJ46，2005）；
27. 《大气污染物无组织排放检测技术导则》（HJ/T55，2000）；
28. 《环境监测分析方案标准制定技术导则》（HJ/T168，2004）；
29. 《场地环境调查技术导则》（HJ/T25.1，2014）；
30. 《场地环境监测技术导则》（HJ/T25.2，2014）；
31. 《污染场地土壤修复技术导则》（HJ/T25.4，2014）；
32. 《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》（GB36600 2018）。

### 1.2.3 其他资料

1. 《南京国海生物工程有限公司原厂址场地环境调查与风险评估报告》及专家评审意见，南京工大环境科技有限公司，2017年4月；
2. 《南京国海生物工程有限公司原厂址场地环境调查 土壤环境检测报告》，南京白云化工环境监测有限公司，2016年2月；

## 1.3 修复技术方案编制原则

方案制定遵循“科学性、安全性、规范性、可行性、经济性”的总体原则。

**科学性原则：**采用科学方法，综合考虑污染场地修复目标、土壤修复技术处理效果、修复时间、修复成本、修复工程环境影响等因素，制定修复方案。

**安全性原则：**在污染土壤处置的各个阶段，保证人员安全和环境安全，防止产生污染转移和二次污染。

**规范性原则：**土壤污染清理与修复中的各项工作均应遵循相关环保标准、规范以及相关环保部门批复的清理与修复方案的要求。

**可行性原则：**综合考虑气候条件、场地条件、技术条件和时间因素，采取因地制宜的措施，应对工程实施过程中遇到的问题制定可操作性强、易于工程实施的实施方案。

**经济性原则：**在保证修复效果的前提下，选择处理费用较低的修复方案或方



案组合，以有效降低处理成本。

## 1.4 修复技术方案编制范围

本次修复技术方案负责的范围与前期调查、风险评估范围相同，具体为：南京国海生物工程有限公司原厂址地块，总用地面积约 52133 平方米，修复面积 1330m<sup>2</sup>，修复土方量 2660m<sup>3</sup>，地下水修复量 63637m<sup>3</sup>，土壤中的污染因子为萘，地下水中的污染因子为氯乙烯、二硫化碳、3-氯丙烯、1,2-二溴乙烷、反式-1,4-二氯-2-丁烯、萘、1,2,4-三甲基苯、2-硝基丙烷、石油类、1,2-二氯乙烷。表 1-1、1-2 所示。

表 1-1 土壤需修复区域及修复土方量统计

修复斑块编号	斑块面积 m <sup>2</sup>	污染深度	污染物	污染土方量 (实方) m <sup>3</sup>
GHXF-1	1330	2.0	萘	2660

表 1-2 地下水需修复区域及修复土方量统计

修复斑块编号	斑块面积 m <sup>2</sup>	含水层厚度	污染物	污染水修复量 m <sup>3</sup>
GHDXSXF-1	15400	4.0	氯乙烯、二硫化碳、3-氯丙烯、1,2-二溴乙烷、反式-1,4-二氯-2-丁烯、萘、1,2,4-三甲基苯、2-硝基丙烷、石油类、1,2-二氯乙烷	25995
GHDXSXF-2	4460	20.0		37642
<b>合计</b>	<b>19860</b>			<b>63637</b>

## 1.5 修复技术方案技术路线

在对前期调查、风险评估等技术成果进行分析、补充、完善、确认基础上，针对污染地块场地污染特点提出修复方案。

本次修复技术方案主要工作内容为：（1）修复模式的确定、修复技术的遴选；（2）针对修复模式的确定、修复技术的遴选，综合考虑经济、技术、社会等各方面因素，综合评价各修复模式、修复技术的优劣，筛选出最适合场地修复工程的模式和技术；（3）编制最终修复技术方案。技术方案的编制主要分为三个阶段：

### （1）选择修复模式

在分析前期污染场地环境调查和风险评估资料的基础上，根据污染场地特征条件、目标污染物、修复目标、修复范围和修复时间长短，选择确定污染场地修复总体思路。

## **(2) 筛选修复技术**

根据污染场地的具体情况,按照确定的修复模式,筛选实用的土壤修复技术,对土壤修复技术应用案例进行分析,从适用条件、对场地土壤修复效果、成本和环境安全性等方面进行评估。

## **(3) 制定修复方案**

根据确定的修复技术,制定土壤修复技术路线,确定土壤修复技术的工艺参数,估算污染场地土壤修复的工程量,提出初步修复方案。从主要技术指标、修复工程费用以及二次污染防治措施等方面进行方案可行性比选,确定经济、实用和可行的修复方案。

修复方案编制的工作程序如图 1-2 所示。

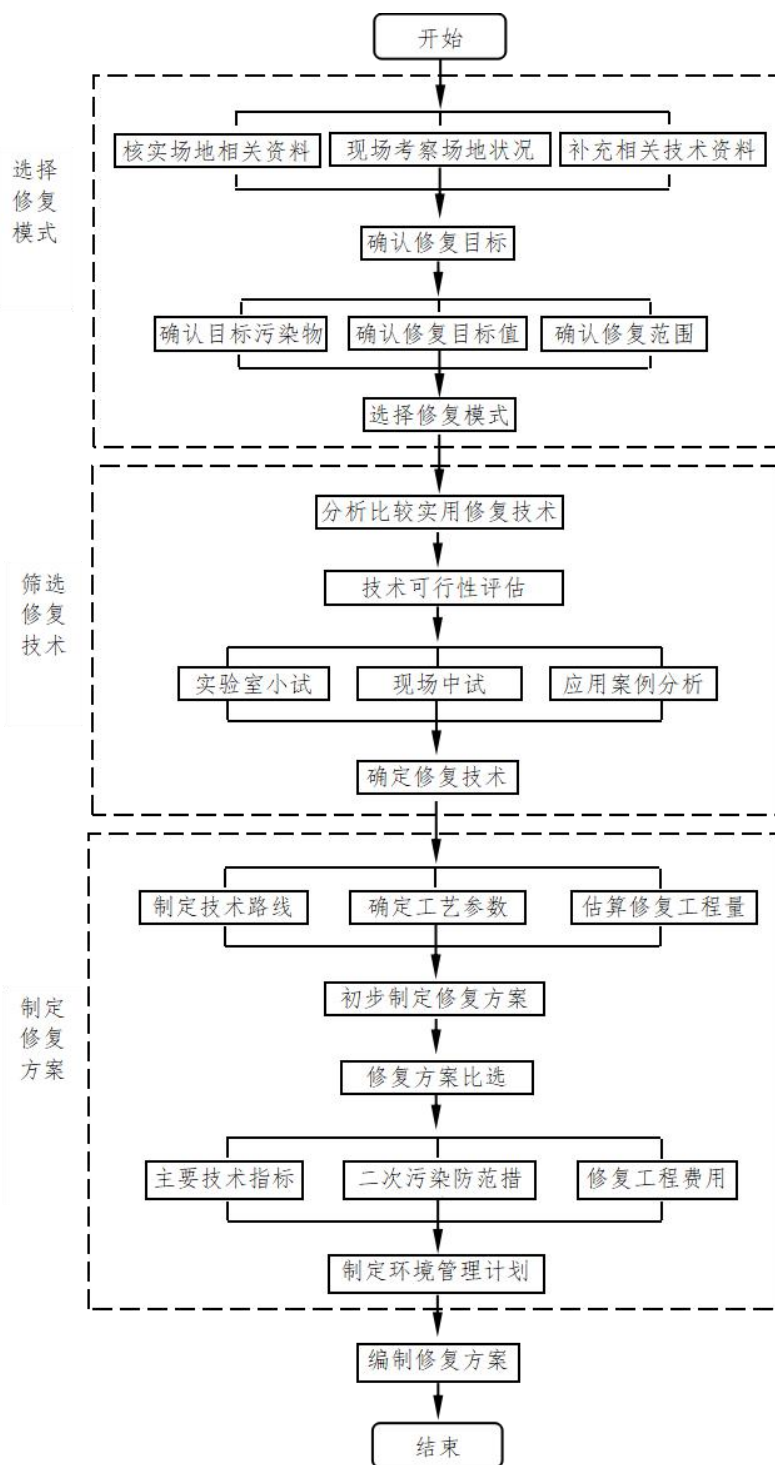


图 1-2 污染场地土壤修复方案编制程序

## 5 场地修复方案设计

### 5.1 总体技术路线

修复技术路线的制定主要考虑以下原则：

(1)根据场地污染特征，地块内的主要污染物均为有机污染物，土壤采用异位热脱附技术处理方法。

(2)污染土壤修复后，回填于开挖区域的包气带范围内，采取工程阻隔回填，以最大限度减小土壤环境影响及控制受污染土壤对人群健康影响的风险。

(3)除了治理、工程控制堆填外，在后期管理中也要进行制度控制，规定了该回填区域内不可进行开挖、移土等土层扰动。

(5)根据场地内土地利用性质的不同，可以在场地内根据土地利用性质，修复后的土可以优先选择回填不易扰动、不易接触的区域。必要时，可以在厂内进行土方置换回填，场内未污染土回填到易于扰动、易于接触区域，而修复土回填到不易扰动、不易接触的区域。

(6)对于地下水面以下深基坑区域，利用放坡土回填至地下水面以上 0.5m，然后再使用修复土回填。

(7)由于场地周围居民点较多，且场地规划为住宅，存在人为社会活动，为了最大限度减小修复土壤暴露风险，采取工程阻隔填埋。

(8)对产生的二次污染采取预防为主、科学治理的原则，妥善进行可能产生的废水、废气、噪声、地下水及二次土壤污染治理设计。

根据上述修复原则，整个场地的修复技术路线如下。

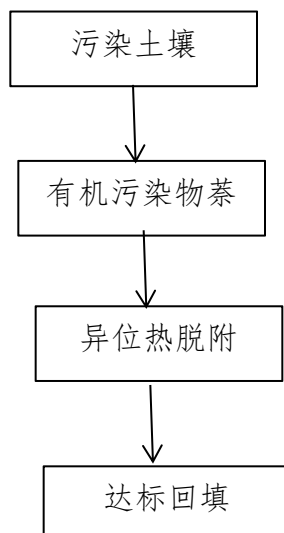


图 5-1 污染土壤修复总技术路线

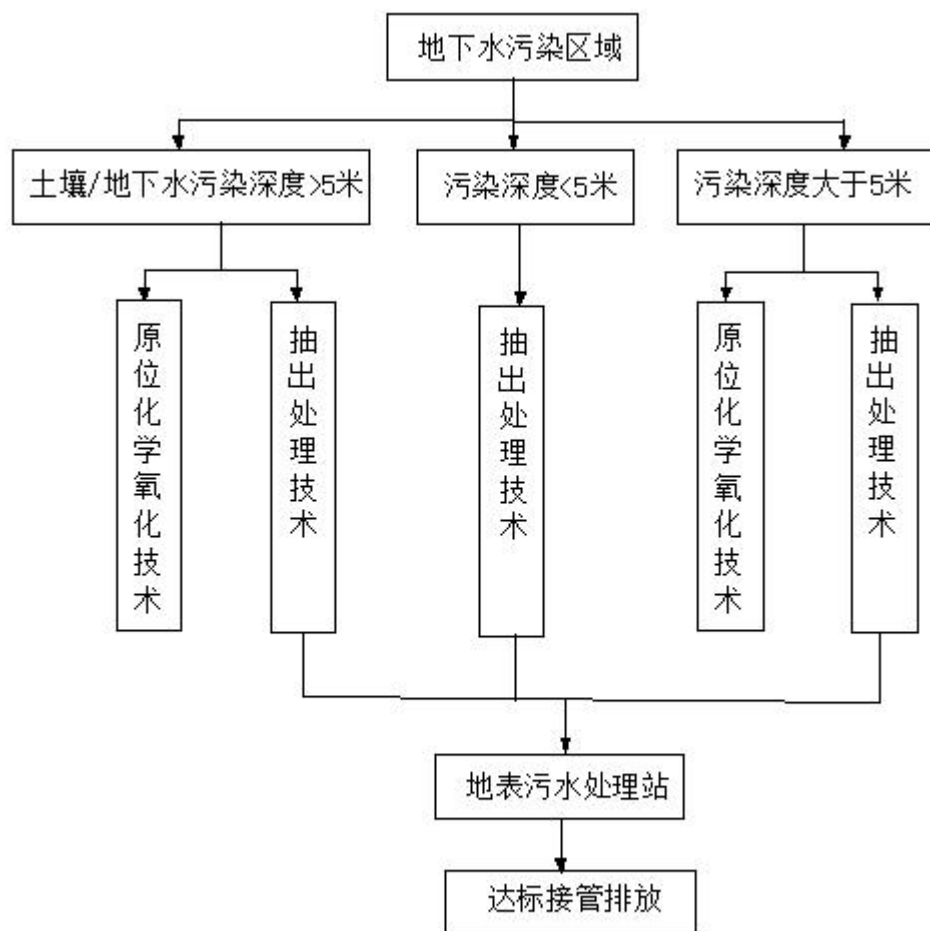


图 5-2 地下水修复总技术路线

## 5.2 修复工程总体规划设计

### 5.2.1 工作区布置规划设计

修复场站应布置在靠近污染区域，同时不影响污染区域清挖、堆存、回填，选择分布于国海未污染地块，初步设置堆置区、处理区、待检区等。工作区总体布置规划表 5-1 所示。

表 5-1 工作区主要工程设施规划一览表

设施名称	功能及规模	备注
异位热脱附车间	用于污染土壤的异位热脱附、临检等。建筑面积 300m <sup>2</sup> 。不小于 50m <sup>3</sup> /天。	密闭车间；地面防渗、防腐；
临时堆场	用于清挖污染土壤的临时堆存待检，建筑面积 300m <sup>2</sup> 。修复土壤设计 4m 堆高。	密闭车间；地面防渗、防腐。
待检堆放区	用于修复土壤的堆存待检和清表土堆存，建筑面积 2700m <sup>2</sup> ，修复土壤设计 4m 堆高。	地面防渗；修复土表面防雨布覆盖；堆高 4m，规则堆放，便于验收采样。
办公楼	满足厂内施工人员、管理人员临时休息等。	--
收集沉淀池	用于待检区、堆场 1 雨水径流收集及深基坑排水处理。收集池容积 300m <sup>3</sup> ，沉淀池（多格）容积 300m <sup>3</sup> 。	尾水除去厂内洒水降尘外，剩余接管进入城市污水处理厂处理。
厂内道路	8~10m 宽，双向	厂内运输。

### 5.2.2 场地破拆规划设计

破拆、平整主要是为了后续修复工程开挖、运输、处置场所用地而进行的地上地下障碍物破拆、地面积水排除、道路整平等准备，使场地满足供水、供电、排水、道路运输等施工条件。

本部分工作内容包括建构筑物（如停车产）破拆，厂内固体废物的清理，由业主负责完成。场地破拆主要用配液压破碎锤的挖掘机、推土机来完成相应地面硬化破碎、建筑垃圾集堆等工作。

场地破拆固废应该在修复工程准备阶段完成，同时完成处理。

### 5.2.3 运输路线规划设计

根据场内地形及地物分布情况，进行运输道路设计，主要为土方运输，道路宽度 8~10m，满足双向气运条件。

### 5.2.4 修复范围现场率定设计

在开挖前对污染场地进行检测、识别，并进行污染区域划分及边界标定。

以《调查及风险评估报告》确定的污染区域边界拐点坐标数据作为放线标准，采用全站仪和水准仪，完成需开挖区域边角点坐标、高程的测定和定点控制，然后由甲方、监理对放线结果进行核查确认。

污染区域率定过程，需要至少满足以下要求：

(1) 现场修复范围的定位依据《调查及风险评估报告》给出污染范围进行钉桩定位，会同监理及业主等相关单位对该开挖线进行确认并用白灰粉明确标定开挖线。

(2) 严格按照规范规定的程序要求和标准标识定位，施工过程中发现标识区域有位移迹象时，及时进行检测，保证其精度不低于测设时的精度。

(3) 选用高精度仪器，所有测量仪器在使用前按有关规定检验、校正放样前，对已有数据、资料和施工图中的几何尺寸，必须校核，严禁凭口头通知或用未签字的草图放样。

(4) 在施工期间保护好标识点，如遗失必须及时补上。在陆上用砼埋设通视良好、不易破坏的定位点，在施工中应随时进行轴线控制，严格按照设计图纸进行放样土壤开挖。

(5) 所有标识定点资料，都应附上相应《定点记录表》，测量完成后，需经监理工程师复核并签字认可。在开挖结束后在污染区域的边缘取点监测，如发现仍存在污染，则报请相关部门后进行再次的定位，之后进行再次开挖直至彻底清除污染为止。

(6) 根据本工程的施工测量精度要求，配备具有丰富实践经验的人员和先进的测量仪器。同时为保证施工放样及定位的精度，制定切实可行的测量方案。

### 5.2.5 开挖施工及修复治理布局方案设计

将整个场地分为作业区和非作业区两部分。作业区包括清运挖掘区以及治理区等，非作业区指除施工区域以外的办公管理等区域。作业区与非作业区需用警示绳或彩钢板隔开。所有车辆机械设备，出作业区必须经过池清洗才允许进入非作业区或出场。作业区域分为以下几个功能区：

#### 5.2.5.1 污染土壤开挖区施工布局方案

即待处理污染土壤区域，在土壤开挖前，应先拆除地面的硬化地坪。

##### 1、开挖顺序设计

由施工单位自行制定开挖顺序。

##### 2、清表土、放坡土去向设计

开挖过程中会产生清表土、放坡土以及夹层土，按照率定的修复范围进行开挖后，汽运至堆场 1，堆高低于 4m，采取规则的堆放形式。

##### 3、开挖放坡设计

开挖过程中放坡时需要按照以下要求进行：

(1) 挖土深度在 1m 以内，不考虑放坡；

(2) 挖土深度在 1.0m~2.00m，按 1:0.5 放坡，因此本地块基坑开挖时按照 1:1.05 放坡；挖土深度以最大开挖深度计，统一进行放坡设计。

### 5.2.5.2 土壤异位热脱附治理区布局方案

该区主要进行污染土治理。可细分为：治理车间、污染土壤临时堆场。

设备存放于车间固定区域。

土壤临时堆场，用于筛分破碎，及开挖转运后的土壤临时堆存。治理车间用于修复土壤。待检测合格后运至待检区。土壤来源以及是否经过治理要用明显标示区别。

该车间采取挡雨棚结构，以密闭大棚形式，采用新建钢支架棚结构，进行封闭建造。车间底部采取防渗处理，参考《环境影响评价技术导则-地下水环境》（HJ 610-2016）中表 7 地下水污染防渗分区参照表，按照重点防渗区要求进行防渗处理，采取人工材料做为主要防渗层。可以采用高标号防渗水泥浇灌或硬化，下伏土工膜（HDPE），上覆防渗涂层，使其防渗效果达到 6m 厚的渗透系数小于  $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$  的黏土层的防渗效果，或者参考 GB18598 执行，防止各种废水下渗到土壤、地下水中。

### 5.2.5.3 养护待检区及辅助堆场设计

即治理后的土壤和堆存放坡土和清表土等干净土壤，集中存放各治理区修复完成的土壤，等待检测与回填。其施工时应满足以下设计条件：

采取露天形式，但是修复土堆存后，采取防雨布进行覆盖，周围设计雨水收集系统，接入收集沉淀池内；或者采取大棚形式进行建设。

底部整平后，采取人工防渗材料进行防渗处理。参考《环境影响评价技术导则-地下水环境》（HJ 610-2016）中表 7 地下水污染防渗分区参照表，按照重点防渗区要求进行防渗处理，采取人工材料做为主要防渗层。可以采用土工膜（HDPE）做为主防渗层，使其防渗效果达到 6m 厚的渗透系数小于  $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$  的黏土层的防渗效果，或者参考 GB18598 执行，防止各种废水下渗到土壤、地下水中。

### 5.2.6 其它相关辅助设施的规划

#### 1、作业机具准备

在清理污染场地前，按照清运土方量准备好各类机械和作业工具。根据该场地清运工作的实际需要，将机械/工具分为：大型器械、场地清理作业、工程防护用具、个人安全防护用具和应急用具等。在工程实施前，应完成施工设备的全面安装调试。

#### 2、基础设施准备

场地基础设施准备主要是场地内的供水供电接入以及土方车临时道路、治理车间的准备。施工用水主要是工作人员一般防护的清洗和设备的清洗，以及治理用水；用电主要为满足现场照明、生活和办公用电。



### 5.3 开挖土壤预处理

预处理主要是在进行修复处置前的对土壤颗粒大小、水分等参数的控制，在临时堆场内进行。

对需要进行修复的污染土壤，为了保证与药剂混合反应，需要对土壤颗粒控制在 20mm 以下；从操作便利与反应需要综合考虑，水分控制在 30%左右，以方便混合和堆置、回填。

#### 1、筛分设备

采用交叉筛进行筛分，将土壤中石块、水泥块、砖、木、铁器等大颗粒物去除。经筛分出的筛下土壤，可通过皮带、装载机等进行物料转移，为现实流水化作业，本方案采用皮带筛下承接并传输，筛分后的土壤送至各作业修复场站堆置，实现连续预处理。

对于石块、木块、水泥块、砖块（建筑垃圾）等筛上物，由于其是开挖过程中夹带的杂物，无污染风险，在集堆后与破拆建筑垃圾暂存于待检堆场，统一委托相关部门处置。

#### 2、传送运输

修复车间与临时堆场之间的土壤传送运输，主要由皮带机连接而成，配合部分挖机、装载机等进行上料、归堆、转场等操作。

## 5.4 土壤修复方案设计

### 5.4.1 异位热脱附修复技术

异位热脱附修复工艺流程包括测量放线、污染土壤清挖与运输、污染土壤预处理、污染土壤处理、修复后土壤堆置、修复后土壤验收检测等，详见图5-1。根据图示内容，对整个工艺流程简要论述如下：

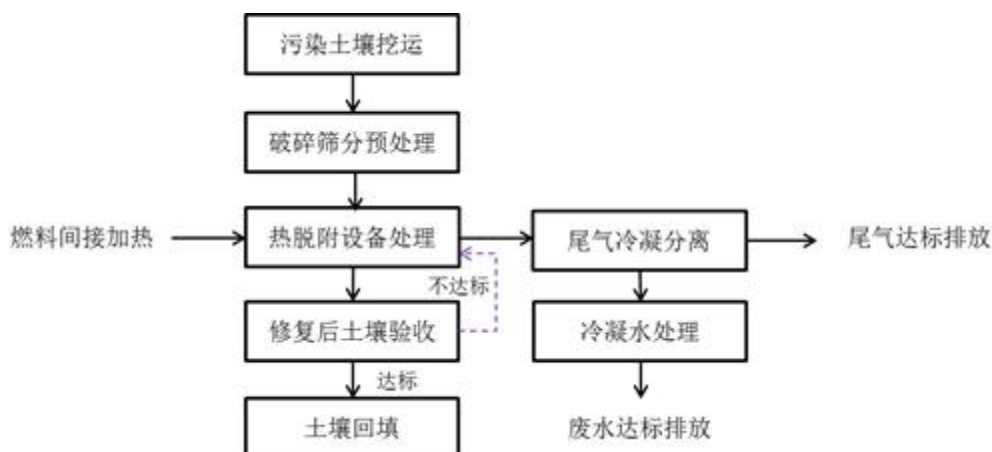


图5-1 异位热脱附工艺流程示意图

热脱附处置工艺流程包括以下污染土壤进料阶段、回转窑加热阶段、清洁土壤排除阶段、氧化焚烧室阶段、尾气处理阶段。

#### 1) 污染土壤进料阶段

污染土壤首先通过场内输送，将污染土壤转运至贮存车间内的预处理区域，并使用挖掘机将土壤输入振荡筛，粒径小于50mm的土块会落在进料皮带输送机上，直接被送入回转窑，而超规格的土块会落入通往破碎机的皮带输送机上，经过破碎后再次返回振荡筛进行筛分，而无法处理的石块会被统一回收，另行处置。

#### 2) 加热阶段

通过燃烧器产生的火焰均匀加热转窑外部，污染土壤被间接加热至污染物的沸点后，污染物与土壤分离。

由于本场地目标污染物的沸点在300℃以下，因此，回转窑工作温度区间内可使目标污染物完全气化而解吸。

#### 3) 清洁土壤排放阶段

回转窑中处置后灼热的土壤落入土壤混合器内，经间接喷水混合冷却后送入出料口输送带输送至处置土壤贮存区分批存放，通过监测验收后，作清洁土壤回填处置。

#### 4) 氧化焚烧室阶段

含有污染物的烟气在通风系统的负压作用下，通过旋分除尘器除去其中的尘土颗粒物质，然后进入内嵌耐火材料隔热层的氧化焚烧室中。室内保持1200℃高温，并通过通风系统维持含有污染物的尾气在其中停留超过2秒，污染物被分解成二氧化碳、二氧化硫及水蒸汽等最终产物。此外污染土壤贮存车间中含有污染物的空气也可以由通风系统送入氧化焚烧室作为燃烧器的助燃空气，有效解决贮存车间内部空气中污染物的净化问题。同时污染土壤暂存车间也设有尾气收集和处理系统，在热脱附设备维护和检修期间，由自身尾气系统净化。

#### 5) 尾气处理阶段

尾气处理系统包括急冷塔、布袋除尘室和酸性气体洗涤塔等。高温烟气从氧化焚烧室出来后，经急冷设备迅速冷却至<200℃，避开二噁英生成最剧烈的温度区域（200-500℃），有效防止了二噁英的产生。急冷器内装有雾化喷嘴，烟气于急冷器上部的烟气入口进入，与喷头喷出的雾化冷却水接触降温后，从急冷器下部的烟气出口流出。急冷器有温度监控系统，可以通过自动调节冷却水量达到保证烟气温度低于200℃的目的。

急冷后的烟气进入布袋除尘室。在布袋除尘室内分离出颗粒物落入底部的集灰斗；设置在滤袋上方的在线吹扫系统会定期将附着在滤袋上的滤饼吹脱至布袋除尘室底部的集灰斗，确保烟气的正常流量。

烟气离开布袋除尘器通过引风机，然后进入酸性气体洗涤塔。酸性气体洗涤塔中含填料，可吸收烟气中的酸性气体；填料上面有波纹除雾器，去除烟气中的液滴；除雾器带冲洗喷头，可喷入碱液，加入的碱液量由循环液pH值控制，该pH值随着酸性烟气量变化而变化。经过酸性气体洗涤塔洗涤的烟气通过烟囱排入大气中。烟囱上装有烟气实时在线监测装置，可以持续监测通过监测点烟气中的一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等污染物质的浓度，辅助操作人员实时监控尾气排放浓度。

#### 6) 修复后土壤自检

修复处理后土壤自检样品采集数量及采集过程严格按照国家、地方相关技术规范执行，并送至具有相应检测资质的第三方检测机构进行检测分析。自检合格后，申请验收采样检测、检测达标后按要求回填。

### 5.4.2 技术参数与施工设备

本项目现场安装平均处理能力为45t/d的热脱附设备，主要包括污染土壤预处理系统、入料系统、回转窑加热解吸系统、氧化焚烧系统、尾气净化系统、出料系统以及程控系统等。另外，处置区还包括污染土壤暂存车间的建造、清洁土待检区设置以及雨水收集系统等附属设施及设备。

主体设备回转窑采用顺流方式连续进料，设备内部保持负压状态。

热脱附设备主要单元介绍如下：

(1) 土壤预处理系统：

由破碎机、振荡筛及干燥物料混合设备组成，用于进行污染土壤的破碎、筛分和调整含水率。进料土壤的粒径（粒径过大，受热面积会降低，土块无法均匀受热，内部的污染物质无法充分气化）及含水率（会消耗额外的能量用于加热水份，同时影响氧化焚烧系统的使用效率）是影响该设备处理污染土壤效率的主要因素。因此必须对污染土壤进行筛分和破碎等预处理，确保土壤粒径小于50 mm，并去除土壤中的石块，同时添加药剂促进污染物的解吸。

(2) 加热系统：

由专门根据热脱附工艺设计的转窑及燃烧器组成，通过对污染土壤进行均匀加热，促使污染土壤中的多环芳烃彻底气化挥发，确保污染土壤中的污染物浓度低于项目规定的修复目标限值。此外，由于该系统只需要确保污染物从土壤中分离，工作温度在100~300℃，不会使土壤出现熔融现象。

(3) 氧化焚烧系统：

由氧化焚烧室及燃烧器组成，通过通风设备调节含多环芳烃烟气的流动速率，使污染物在高温工况下（1200℃）的停留时间大于2秒，确保污染物被完全分解成二氧化碳及水蒸汽。

(4) 尾气净化系统：

由急冷塔、布袋除尘室、酸性气体洗涤塔及烟囱组成，通过管线与通风设备相连，尾气经过急冷、除尘、除酸等工序，最后由装有实时在线监测系统的烟囱排放至大气中，确保尾气不会造成二次污染。

经过回转窑处理的干燥土壤由窑尾排出后，与系统回用水混合，确保土壤的含水率恢复至原始状态。布袋除尘室及旋风除尘器分离的灰尘亦会通过传输设备与处理土壤混合。因此该套设备不会产生任何废渣及废液。由于设备区域内皆为硬化地面，需要设置雨水收集池，存水可用于湿润处理土壤。

设备配有完善且高度集成的程控系统，可以在设备运行过程中，实施监测及记录设备上各电气仪表的读数。设备操作员可以通过程控室内的显示终端实时监控各个相应部件的运行参数，并根据实际情况调整设备的运行工况。程控系统还根据各个运行参数设置了上下限值作为报警条件，一旦设备出现异常，会向操作人员发出报警，辅助操作人员立即锁定故障点，缩短故障排查时间。此外，系统中还设置了联锁，防止发生因违规操作造成设备损坏的情况。

## 5.5 水处理方案设计

### 5.5.1 地下水修复方案

地下水修复技术为原位化学氧化技术+抽出处理技术。

地块内含水层主要是粉质粘土、淤泥质粉质粘土，部分区域存在少量粉土层，含水层渗透性较差，抽水影响半径和原位注射化学氧化影响半径均较小，本项目中采用两者相结合的抽出处理注入修复技术进行处理，修复技术原理图见图5-2。

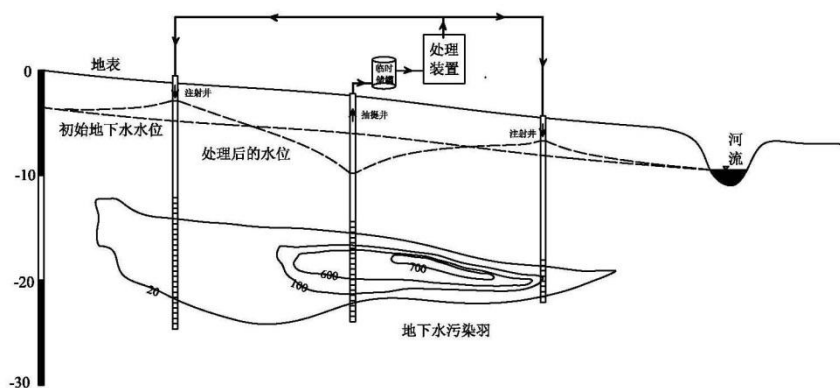
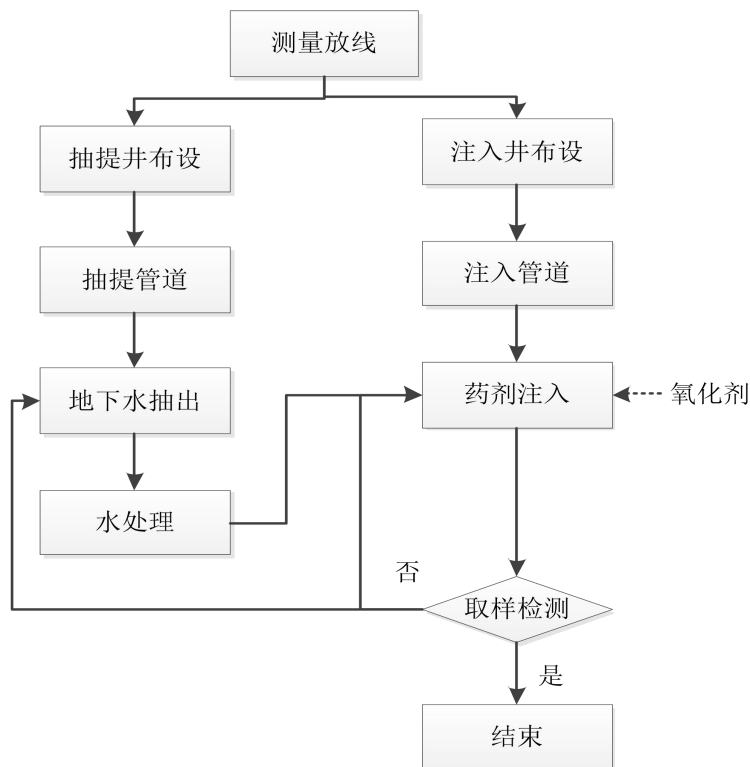


图5-2 地下水抽出处理注入原理图

抽出后的地下水在现场进行处置，处置后的水加入氧化剂，注入至地下水中，工艺流程图见图5-3。



### 图5-3 地下水处理工艺流程图

#### (1) 测量放线

根据污染范围，对地下水污染区域进行测量放线，确定地下水污染范围。

#### (2) 抽提井、注射井、监测井建设

根据规划的建井位置，建设抽提井、注射井、监测井，深度直至地面下污染深度。

#### (3) 抽提和注射系统安装

在设备进场后，现场需要进行抽提泵、抽提管道建设以及污水处理系统建设，注射系统中包括药剂泵、加药泵、溶药罐、搅拌装置、注射头以及连接管道，仪表、电力、支架等的安装工作。

#### (4) 系统运行及药剂配制

对于抽提后的地下水进行处理，并且对处理系统进行调试，前期调试过程中由于废水达标情况不一致，可加入过量的氧化剂一同注入至地下水中，后期稳定后根据注入区污染物浓度计算药剂注入量。

#### (5) 注射井注射药剂

根据地层资料，结合工程经验，确定各区域药剂注射量、注射频次等工艺参数。

#### (6) 采样监测

药剂投加后一段时间，按照设计的时间间隔定期进行采样监测。根据检测结果对药剂添加量等参数进行适当的调整，对于扩散效果不好的区域采用钻机直接注入化学氧化药剂的方法进行加密注射，直至达到修复目标。

#### (7) 验收

修复达标后的区域，验收通过后，拆除注射井，该区域修复工程完成。

### 5.5.2 地下水修复工艺参数

#### (1) 抽提井和注射井布设参数

化工企业内含水层主要是粉质粘土、淤泥质粉质粘土，部分区域存在少量粉土层，含水层渗透性较差，建议中试施工前进一步开展抽水试验等水文地质试验，获取实际影响半径参数，同时，视地下水水量大小，确定是否在地下水修复边界设置止水帷幕。止水帷幕设置应符合国家、地方相关技术规范，满足地下水阻隔要求，设置过程不得产生二次污染。

注射井管材由施工单位根据具体工艺要求确定。

注射井的影响半径要根据场地地质条件并结合现场试验情况进行确定。通过对数百个原位化学氧化修复土壤和地下水的文献资料及工程应用实例统计表明，氧化剂的扩散半径为0.50~

15.00m，有效作用半径为 0.75~7.50 m。

注射井点位根据相关实验及工程应用经验确定。

## (2) 药剂参数

市场上，承担修复工程的单位常常具备自己的药剂专利，本次修复技术方案对于药剂不做严格要求，以修复单位成熟的药剂为准，修复单位使用的药剂应该满足以下要求：

(1) 满足表修复土自检标准要求。

(2) 修复单位需要提供药剂中试试验成果以及应用案例做为佐证，药剂添加可以分布实施，也可以采取混合药剂一次性添加。

(3) 药剂主要成份应该明确，且不含国家禁止的化学药品。

(4) 如果使用有机类药剂，或者药剂中含有大量有机物成份，应该明确，同时采取相应的二次污染防治措施。

(5) 明示药剂使用说明，并在现场施工车间内挂牌公开。

### 5.5.3 污水来源及污水量

#### 5.5.3.1 基坑降水计算

修复地块主要赋存潜水，为第四系孔隙水。基坑开挖降水仅涉及潜水含水层，其具有埋深较浅，厚度较小，水量不大，渗透极小的特点，基于上述特征，本场地采用基坑内设置疏干井结合明排方式进行基坑降水。

针对本项目不规则面状基坑，基坑范围的引用半径根据下式计算：

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$$

式中：

F 一基坑面积（m<sup>2</sup>）。

含水层影响半径根据下式计算：

$$R = 2s\sqrt{kH}$$

式中：

R 一含水层影响半径（m）；

s 一基坑中心水位降深（m）；

k 一含水层渗透系数（m/d），取值参考土工试验结果及经验值；

H 一潜水含水层厚度（m）。

无压完整井群井点（即环形井点系统）涌水量根据下式计算：

$$Q = \frac{1.366k(2H-s)s}{\lg(1+\frac{R}{r_0})}$$

式中：

Q 一基坑涌水量（m<sup>3</sup>/d）；

k 一含水层渗透系数（m/d）；

H 一潜水含水层厚度（m）；

s 一基坑中心水位降深（m）；

R 一含水层影响半径（m）；

r<sub>0</sub>一环形井点到基坑的距离（m）。

基坑相关参数取值及基坑涌水量估算见下表，根据估算结果，基坑总涌水量约为 15.61m<sup>3</sup>/d。

### 5.5.3.2 基坑雨水计算

查询相关资料，南京市多年平均降雨量为 1045.4mm，最大年降雨量 1951.4mm，最小年降雨量为 416.5mm。雨季主要集中在 5-9 月份，其多年平均雨量为 663.1mm，占全年总雨量的 63.3%。为充分考虑所需的集水量，按雨季降雨量来考虑实际降雨量。本项目基坑面积为 1330 m<sup>2</sup>，经计算，雨季基坑集水量为 3.82m<sup>3</sup>/d。

### 5.5.3.3 基坑最大日降水量计算

由于基坑补给来源于大气降水，基坑总降水量应包括总涌水量和大气降水。基坑开挖时最大开挖面积是 1330m<sup>2</sup>，基坑最大日降雨水量 3.82m<sup>3</sup>/d。考虑到实际基坑开挖将依次施工，并不是所有基坑面都同时暴露，因此按 50%的基坑暴露面计算最大日降雨量为 1.91m<sup>3</sup>/d，基坑最大日涌水量为 7.81m<sup>3</sup>/d，汇总可得本项目基坑最大日降水量 9.72 m<sup>3</sup>/d。

### 5.5.4 污水处理工艺设计

现场拟设置污水处理站 1 套，根据理论估算结果，建议设计处理能力不低于 1t/h，工艺设施按 24h 连续运行设计。实际施工过程中如出现水量较大情况，应采取增设污水处理设备等措施。

污水主要污染物为地下水修复目标污染物（氯乙烯、二硫化碳、3-氯乙烯、1，2-二溴乙烷、反式-1,4-二氯-2-丁烯、萘、1,2,4-三甲基苯、2-硝基丙烷、石油类、1,2-二氯乙烷）及因开挖扰动进行水中的土壤修复目标污染物（萘）。

本项目修复过程产生的污水建议采用工艺流程如下图 5-4 所示。



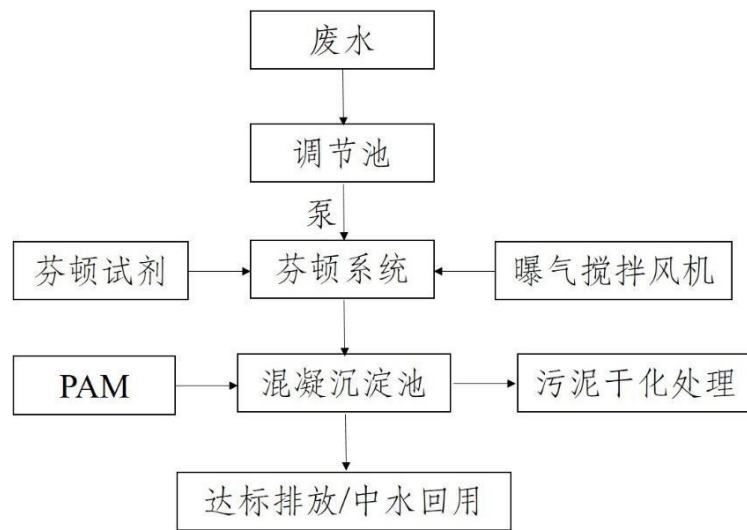


图 5-4 污水处理工艺流程图



## 7 成本效益分析

### 7.1 修复费用

修复工程成本应包括：场地前期清理、土壤挖掘运输、污染土壤修复处理；修复过程的废水、废气、噪声、固废防治；施工过程中环保措施费用；施工监理、配套、咨询、临时检测、药剂、临时检测等其它费用。按照目前市场一般行情，对修复工程及其他费用进行了初步估算。

根据测算结果，本场地按照推荐技术方案，该场地修复工程总概算为 1303.8 万元，其中修复工程费为 910.8 万元。

表 7-1 工程量清单

序号	项目名称	单价(元)	数量	单位	总价(万元)
一	分项工程费				<b>910.8</b>
1	清表	50000	1	项	5
2	污染土壤修复		2660	m <sup>3</sup>	395.8
2.1	异位热脱附	1300	2660	m <sup>3</sup>	345.8
2.2	处置大棚+尾气处理装置	500000	1	项	50
3	地下水修复(包括抽出处理及送污水处理厂)	80	63637	m <sup>3</sup>	510
二	措施费				181
1	安全文明施工费 1*	6%	1	项	55
2	临时设施建设 2*	5%	1	项	46
3	质量检测及环境检测 3*	400000	1	项	40
4	二次污染防治 4*	400000	1	项	40
三	其他				212
1	工程监理	6%	1	项	66
2	环境监理	6%	1	项	66
3	效果评估项目	600000	1	项	60
4	预留金	--	1	项	20
四	合计				<b>1303.8</b>

\*注：1\*配置安保值班，公司品宣，场地裸漏地面的及时管控等；

2\*场地拆除的比较彻底，围挡，项目部等均需要新建，临时道路建设等；

3\*前期场调距今间隔较长，有必要安排补充调查，尤其是对重点修复区域核心和清理边界的复核；土壤和地下水修复过程也需要适当增加自检，确保修复质量，

4\*清挖过程气味控制措施，可能需要移动式气肋膜大棚，清理和转运过程气味控制压力大，措施费高，大棚尾气治理涉及活性炭更换相对频繁，量较大！此外，废气处理产生的废活性炭，废水处理产生的废活性炭，底泥等，可能都会被归类为危废外委处置。

## 7.2 环境效益、经济效益、社会效益

### 7.2.1 环境效益

结合本场地污染特征，本工程拟选用异位热脱附、原位化学氧化技术和抽出-提取技术，消除土壤和地下水中有有机污染物对人体健康产生的风险。

### 7.2.2 经济效益

本项目地块有原来的工业用地转成为住宅混合用地，可以大幅度提高该地块的利用效率和商业利用价值。但土地的商业价值，除了取决于该地块在城市规划中的区位和土地使用性质外，还与地块本身的物理化学属性有很大关系。本项目有效消除了地块本身存在的环境、地质、水文风险，降低了商业开发的成本和风险，使土地本身得到充分增值。因此，本项目良好的修复效果，必定能提升该地块整体商业价值。土地的商业价值提升，就意味着作为税收主体的政府、作为建设主体的开发商、作为房屋产权拥有者的最终消费者等利益相关者均能够从土地的价值增值中获益。

### 7.2.3 社会效益

对我国工业城市加快重污染产业的搬迁转产、产业结构调整 and 升级，以及城市空间布局的优化，具有重要示范意义，有利于加快南京乃至全国城市化发展和生态文明建设。

该项目的有效实施，可有效解决环境保护与经济矛盾的矛盾关系，既能够解除民众对环境的关注和忧虑，降低环保部门的管理风险，同时能够解决土地开发企业的后顾之忧。

通过改善该场地土壤环境质量，有利于改善南京的生态环境，有利于优化居民生活环境，促进社会和谐发展。

## 8 施工进度与安排

经与委托单位确认，本修复工程工期要求为1年，共365天。

**场地施工准备：**包括项目部建设、污染区域定位、场地表层清理平整、场地围墙建设、膜车间大棚搭设、污水处理站建设等工作，初步估算所需时间为60天。

**污染土壤开挖：**包括土方开挖、基坑降水、异位热脱附处理，初步估算所需时间为60天。

**水处理：**包括基坑降水、污染地下水以及修复过程中产生的污水等，初步估算所需时间为300天。

**土方回填：**土方回填时间比开挖时间略长，主要因为要进行工程阻隔、碾压、雨水收集系统建设等，预计15个日历日完成。

**修复工程自检：**贯穿整个污染土壤、地下水修复全过程。

表 8-1 进度安排表

序号	工作内容	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月	第11月	第12月
一	施工准备												
二	污染土壤修复												
三	地下水修复												
四	验收备案												
五	回填退场												

## 9 结论与建议

### 9.1 结论

根据备案后的风评报告，考虑场地水文地质条件、污染物及污染程度、治理修复时间、成本等多方面因素，经综合比选，有机污染土壤修复治理推荐使用**异位热脱附修复技术**，污染地下水修复治理推荐使用**原位化学氧化技术+抽出处理技术**。各修复技术推荐使用情况见表 9-1。针对本项目的具体情况，制定了二次污染防治措施、验收计划、监测计划及环境应急方案。本项目计划工期为 365 日历天，并详细安排工期进度。计算本项目的修复费用，并从环境效益、经济效益及社会效益等方面综合进行成本效益分析。

表 9-1 各修复技术应用规模一览表

修复介质	污染类型	推荐使用修复技术	理论修复方量 ( $m^3$ )	估算的土方开挖量 ( $m^3$ ) <sup>①</sup>	修复达标后去向
土壤	有机物萘	异位热脱附	2660	3059	原地回填
水	有机物	原位化学氧化技术+抽出处理技术	63637	--	接管排放

备注：① 考虑开挖放坡等施工因素，暂按理论方量 1.15 倍估算开挖工程量，向上取整，具体工程量以实际开挖为准。

## 9.2 问题和建议

(1) 场地周边分布有大量居民区，环境敏感度较高，建议修复施工开始前，项目相关方应建立有效沟通机制，协商确定周边居民保护等有关事项及处理办法。场地修复过程应采取有效的安全和环保措施，防止二次污染和污染风险。在场地修复施工前，应制定详尽的二次污染防治计划和风险防范预案，并对相关人员进行必要的安全和环保培训，持证上岗；施工中，应严格参照执行，减少意外环境污染事故和污染风险的发生，确保工程的顺利实施。施工过程中及时对外公布项目进展及环境监测情况，避免出现异味扩散扰民、安全事故等情况。

(2) 南京国海生物工程有限公司原厂区搬迁后场地变化较大，污染分布存在一定的不确定性。建议在修复工程实施过程中，根据现场情况适时调整污染修复边界、修复方法等，应时刻关注、防范现场突发和异常情况，规范处理处置，以确保场地修复治理达到预期目标。同时进行污染防治措施的专题论证，作为修复施工方案的附件和依据，更好的指导下一步的施工方案设计。

(3) 建议修复施工单位利用场地污染土壤、地下水，尽快开展修复技术（含本方案推荐技术及施工单位自有新技术等）小试、中试规模技术评估，进一步确定技术可行性，据此调整优化总体修复技术路线。修复方案变更需征得项目相关各方同意。

(4) 建议施工单位合理安排施工时间和施工方式，优先处理场地敏感污染区域，尽量避免雨天、雪天和高温天施工作业，防止发生施工安全事故和污染扩散事件。

(5) 场地修复过程应进行跟踪检查，及时发现问题。在场地修复过程中，应随时观察、发现是否有新的污染产生，如地下埋藏物、地下罐体、地下管线和有明显特殊气味的地方。一经发现，应及时上报，并由专业人员进行处理。