

# 《有机污染地修复技术规范 多相抽提》

(征求意见稿)

编制说明



编制组

二〇二三年五月

# 目次

1 任务来源 .....	3
2 标准制定必要性 .....	3
3 主要工作过程 .....	4
4 国内外相关标准研究 .....	5
5 同类工程现状调研 .....	5
6 主要技术内容及说明 .....	6
7 标准实施的环境效益与经济技术分析 .....	16
8 标准实施建议 .....	17
9 征求意见处理情况说明（送审稿） .....	17
10 .....	技术审查工作情况说明（报批稿）



# 《有机污染地块修复技术规范 多相抽提》编制说明

## 1 任务来源

2020年1月，上海大学作为“国家重点研发计划”场地土壤污染成因与治理技术研究项目《石化污染场地强化多相抽提与高效净化耦合技术》课题五《典型场地强化多相抽提与净化技术全流程规模化示范》承担单位，承担了《强化多相抽提修复技术全流程工艺优化与全系统综合评价》任务。课题组通过分析典型低渗透有机场地污染特征、多相抽提技术效能、修复效果、强化多相抽提技术类型等，编制《有机污染场地强化多相抽提与高效净化耦合技术规范》。

2023年4月，上海大学向中华环保联合会提出申请，立项《有机污染场地强化多相抽提与高效净化耦合技术规范》团体标准，并承担该标准的编制工作，参编单位有上海勘察设计研究院（集团）有限公司、北京高能时代环境技术股份有限公司、上海市环境科学研究院。2023年5月，中华环保联合会主持召开了该标准征求意见稿技术审查会，依据专家意见将标准名称修改为《有机污染地块修复技术规范 多相抽提》。

## 2 标准制定必要性

2019年1月1日《土壤污染防治法》实施，要求有风险的地块应进行风险管控和修复。从法律法规的层面上，国家正不断加大污染土壤环境治理力度，不断完善管理制度的建设。

2019年，生态环境部重新修订了建设用地土壤环境保护系列标准，包括了调查、监测、风险评估和污染土壤修复技术导则。《建设用地土壤修复技术导则》规定了污染土壤修复所遵循的一般性原则、程序和技术要求，主要适用于污染土壤修复可行性研究中修复技术的筛选和修复方案的制定，但是缺乏对土壤修复各专项技术的详细规定。在选定具体的修复技术后，还需要通过各个土壤修复专项技术规范来指导相应的修复技术的设计与实施，例如修复技术方案筛选出多相抽提技术后，本标准用于具体指导和规范如何进行多相抽提工程设计和施工。

我国有机企业数量众多、分布广泛、产排污强度大，典型污染地块中石油类和氯代烃等检出率超过70%，且暴露负荷高、毒性效应强，对地块周边的生态环境和人群健康构成严重危害，亟需进行有效的修复治理和风险管控。多相抽提技术广泛应用于有机污染地块的修复治理，但目前对于处理非均质、低渗透地层中的高粘度、高密度有机物污染仍然十

分困难，存在修复施工后期拖尾、反弹、污染扩散和尾气超标等问题，难以满足地块修复标准和技术规范要求，亟需研究强化多相抽提与修复技术，实现有机污染地块科学治理。

制定《有机污染地块修复技术规范 多相抽提》是完善标准体系的具体体现，是弥补我国现阶段多相抽提技术及强化策略领域空白的迫切需求。该技术规范的制定还可以进一步提高多相抽提技术修复工作的规范性，为制定高效修复策略提供参考，节省工程投资，全面提升工程质量和效率，具有重要的经济效益和社会效益。

### **3 主要工作过程**

#### **3.1 组建编制技术组和研究启动**

2022年8月，在中华环保联合会水环境治理专业委员会的组织协助下，由上海大学牵头，联合上海勘察设计研究院（集团）有限公司、北京高能时代环境技术股份有限公司、上海市环境科学研究院等单位签署了团体标准编制协议，成立了标准编制技术组。2022年8月30日，中华环保联合会水环境治理专业委员会组织召开了《有机污染场地强化多相抽提与高效净化耦合技术规范》编制启动会议，标准编制技术组就标准编制大纲和重点研究问题进行了第一次集中讨论和任务分工。

#### **3.2 重点问题研究**

2022年9月22日，标准编制技术组召开了第二次工作会议。对有机污染地块多相抽提修复技术等重点问题进行了专题研讨。10月18日，形成了重点问题的研究初稿。

#### **3.3 规范初稿的编制**

2022年11月09日，标准编制技术组召开了第三次工作会议。对强化多相抽提和修复技术程序、现场测试方法等问题进行了专题研讨。11月24日，形成了《有机污染场地强化多相抽提与高效净化耦合技术规范》第一版初稿。

#### **3.4 专家咨询和规范第二版初稿的编制**

2023年4月25日，上海大学牵头组织召开了标准初稿的专家咨询会，就标准格式和重点技术内容进行了重点咨询。会后经修改完善后形成了《有机污染场地强化多相抽提与高效净化耦合技术规范》第二版初稿。

#### **3.5 专家咨询和征求意见稿的编制**

2023年5月13日，标准编制技术组召开内部研讨会议，对第二版初稿中的内容再次进行研讨。5月25日召开技术审查会，与会专家一致同意该标准通过技术审查，编制组参考专家意见将标准名称修改为《有机污染地块修复技术规范 多相抽提》，修改完善后于6月5日形成了《有机污染地块修复技术规范 多相抽提》（征求意见稿）。

## 4 国内外相关标准研究

### 4.1 多相抽提技术的发展概况

多相抽提技术 (Multi-Phase Extraction, MPE) 是通过真空抽提手段, 抽取地下污染区域的土壤气体、地下水和 NAPL 到地面上进行分离和处理, 以控制和修复土壤和地下水中的有机污染物的技术。

欧美发达国家早在 20 世纪 90 年代就将多相抽提技术作为修复土壤和地下水污染的技术之一, 目前已形成完善的集技术标准和管理机制为一体的多相抽提修复技术体系。美国陆军工程兵团《Engineering and Design Multi-Phase Extraction》技术文件给出了多相抽提技术工程设计指南。美国环保局《Multi-Phase Extraction: State-of-the-Practice》文件提供了实际应用的案例分析。

我国现有多相抽提技术标准 (包括征求意见稿) 大多是同其他修复技术整合编汇。此类标准主要包括《2014 年污染场地修复技术目录 (第一批)》、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》、《石化地块污染土壤-地下水原位协同修复技术指南 (试行)》等, 标准中对多相抽提技术的适用范围、修复效果等做出了总结, 但对其设备选型、强化技术等并未给出针对性要求和建议。

### 4.2 强化多相抽提技术的发展概况

强化多相抽提是通过电阻加热、蒸汽注入、增溶脱附等方式强化多相抽提, 以提高污染物的去除率, 节省时间成本。

ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council) 2003 年制定了《Technical and Regulatory Guidance for Surfactant/Cosolvent Flushing of DNAPL Source Zones》, 该技术导则给出了利用表面活性剂/助溶剂冲洗来强化抽提 DNAPL。

生态环境部 2021 年发布了《污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附》, 该技术文件给出了利用热脱附与抽提结合去除土壤污染物相应的技术规范。

## 5 同类工程现状调研

MPE 技术在国外已有多年的工程应用, 美国环保署、石油学会和陆军工程部等针对 MPE 系统的工程设计和运行维护出台了相关的技术指南。Kirshner 等 1996 年报道了高负压双相抽提 (HVDPE) 技术在航空燃油污染土壤和地下水修复的应用, 经 5 个月运行去除了 16656.8 kg 烃类污染物, 其中生物降解、液体抽出、气相抽提对污染物去除的贡献分别占 62%, 27%和 11%。Gabr 等在某空军基地航空燃油污染地块使用垂直预制井布设 25 排抽提井, 安装 MPE 系统进行 LNAPL 抽提, 运行 185 h 共去除 467 kg 气相有机污染物和



133 L 的自由相液体。Calza 等将 MPE 技术应用于巴西某加油站苯污染地块修复，经 18 个月系统运行后地下水中苯污染浓度达到修复目标要求。Baldwin 等在某加油加气站地块设置 12 口抽提井并安装 HVDPE 系统进行地下水修复，两年半运行期共抽出污染地下水 1400 m<sup>3</sup>，去除约 119 kg 石油烃。

国内 MPE 技术研究应用近年发展迅速，中试和工程化应用逐渐增多。张云达等在某氯代烃苯系物复合污染地块采用单泵双相抽提系统进行地下水修复，在 1000 m<sup>2</sup> 污染范围内布设抽提井 103 口，在 20 天运行后抽出 250 m<sup>3</sup> 地下水，12000 m<sup>3</sup> 气体，收集 NAPL 约 50 L。张峰在某化工地块 LNAPL 污染地下水单泵双相抽提系统修复中试研究布设了 9 口抽提井，运行时间 25 d，共抽提污染液体约 720 L，去除甲苯约 125 kg。王锦淮等在某化工地块苯系物污染地下水 MPE 修复中试研究发现，MPE 技术实现了土壤地下水中挥发性气体污染物浓度迅速下降，但对残留溶解态、吸附态污染物无显著效果，需与原位化学氧化修复技术联合运用以提高修复效率。张学良等运用燃气热脱附强化抽提对某退役溶剂厂污染地块进行修复，结果显示热脱附修复后土壤中苯、氯苯和石油类有机物最大去除率分别为 99.88%、99.84%、97.58%，地下水中苯、氯苯和石油类有机物去除率分别为 98.77%、97.70%、99.99%，燃气热脱附强化抽提技术处理地块挥发性有机污染物效果良好。

## 6 主要技术内容及说明

### 6.1 适用范围

本文件规定了有机污染地块多相抽提修复的基本规定、多相抽提设计、强化多相抽提设计、监测与控制、施工与验收、运行与维护。

本文件适用于有机污染地块多相抽提修复工程的设计、施工、验收及运行维护。

### 6.2 规范性引用文件

现行的国家法律法规、建设用地系列土壤生态环境标准、污染物排放治理类的环境标准及相关的行业标准是制定本标准的依据。

环境质量、排放标准、环境影响、污染物毒性浸出方法等引用国家和行业的相关标准。有关施工和验收、运行和维护等方面的技术要求引用国家和行业的相关标准。

### 6.3 术语和定义

本标准规定了 7 个术语，分别是多相抽提、强化多相抽提、热强化、电阻加热、蒸汽加热、增溶强化和非水相液体，主要术语说明如下。

#### 多相抽提

采用真空提取手段，抽取地下污染区域的土壤气体、地下水和非水相液体 (NAPL)

到地面上分离和处理，控制和修复土壤和地下水中有有机污染物的技术。

**说明：**《污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附》(HJ 1165) 等相关规范中对“多相抽提”已经进行了释义，考虑到“多相抽提”是本标准的核心，因此本技术规范结合相关规范和大量文献对多相抽提进行定义，并在将其作为本指南中重要的术语，为和本标准更加贴合，在原本含义不变的情况下，进行了部分措辞的修改。

#### 强化多相抽提

采用加热、增溶等土壤修复技术与多相抽提技术耦合，提升多相抽提对有机污染地块的修复效能。

**说明：**多相抽提技术对环境修复有一定的局限性，在渗透系数较低的土壤，抽提效率并不显著，加热、增溶等强化技术可以提升多相抽提的效率，国内外对强化多相抽提开展了大量研究，该术语主要结合国内外相关研究进行了定义。

#### 热强化

采用电阻加热或蒸汽加热方式，将有机物从土壤或地下水中脱附或降低其粘度，提升抽提效率的技术。

**说明：**热强化技术可以提升多相抽提的效率，国内外对热强化多相抽提开展了大量研究，该术语主要结合国内外相关研究进行了定义。

#### 电阻加热、蒸汽加热

**说明：**《污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附》(HJ 1165) 中已对“电阻加热”、“蒸汽加热”进行了明确释义，但主要是针对热脱附技术，而热强化和热脱附的目的并不相同，因此针对以上加热方式，修改了部分措辞以更贴合本技术规范。

#### 增溶强化

向土壤注入增溶材料，使有机污染物从土壤中脱附，提升抽提效率的技术。

**说明：**增溶强化技术可以提升多相抽提的效率，国内外对增溶强化多相抽提开展了大量研究，该术语主要结合国内外相关研究进行了定义。

#### 非水相液体

不与水混溶的，一种或几种化学物质的液态混合物。比重大于 1.0 的非水相液体称为高密度非水相液体 (DNAPL)，比重小于 1.0 的非水相液体称为低密度非水相液体 (LNAPL)。

**说明：**《建设用地土壤污染风险管控和修复术语》(HJ 682) 等相关标准中对“非水相液体”已经进行了释义，本标准在原本含义不变的情况下，进行了部分措辞的修改

## 6.4 总体要求

本节主要规定了多相抽提修复工程应遵守的原则，修复工程施工和运行过程中产生的废气、废水、固体废物及其他污染物处理，及修复处理后的土壤和地下水中目标污染物含量需满足修复目标值的要求。

参考《2014年污染场地修复技术目录（第一批）》和国内外多相抽提修复文件及工程案例对多相抽提技术适用的地块条件进行了规定，多相抽提技术适用的地块条件见表 6-1。

表 6-1 多相抽提技术适用的地块条件

地块条件	适用范围
渗透系数	$10^{-5}$ cm/s ~ $10^{-3}$ cm/s
渗透率	$10^{-10}$ cm <sup>2</sup> ~ $10^{-8}$ cm <sup>2</sup>
导水系数	< 0.72 cm <sup>2</sup> /s
空气渗透性	< $10^{-8}$ cm <sup>2</sup> /s
地质环境	砂土至粘土
污染区域	包气带、饱和带
污染物	气态有机物、溶剂性有机物、土壤吸附态有机物、非水相液体 (NAPL) 等
包气带含水率	较低
地下水埋深	> 0.9 m
土壤含水率	40%~60%饱和持水量

## 6.5 多相抽提设计及设备要求

### 6.5.1 一般规定

本节规定了多相抽提修复工程的设计和运行应该遵守国家相关法律法规和国家及行业标准的规定，切实做到依法建设、依规运营。



## 6.5.2 系统设计

6.5.2.1 本节介绍了多相抽提系统的构成单元，多相抽提宜由抽提单元、分离与净化单元构成。多相抽提可分为单泵系统和双泵系统，单泵系统仅由真空泵提供抽提动力，双泵系统应由真空泵和水泵提供抽提动力，将污染物抽提至地面上，经气、液及水、油多相分离后，通过污染物处理装置将分离的各相污染物处理，流程见图 6-1。

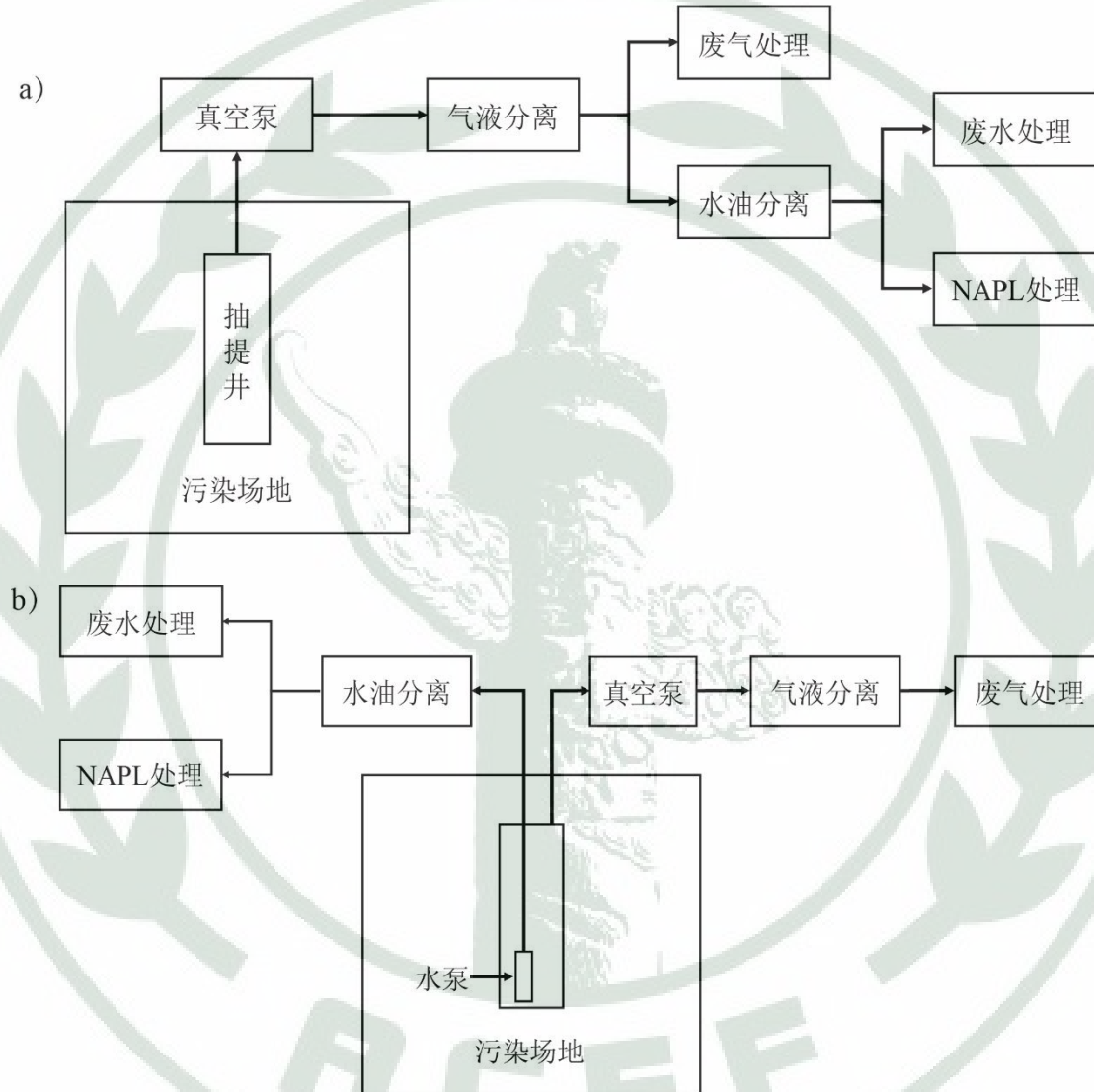


图 6-1 多相抽提技术工艺流程图。a) 单泵系统，b) 双泵系统

### 6.5.2.2 抽提单元设计

本节根据现有标准以及大量的实际场地的工程经验对抽提单元建井和设备选型提出设计建议和要求。管井的设计应符合 GB 50296 的规定，直径应根据工艺设计、地块水文地质条件和现场试验确定，建议单泵不小于 80 mm，双泵不小于 200 mm；井数量应根据污染范围和单井影响半径确定，单井影响半径应根据中试结果确定，黏性土单井影响半径可介于 0.5 m~2.0 m，粉性土单井影响半径可介于 1.5 m~5.0 m，砂土单井影响半径可介于

3.0 m~8.0 m；管底放置深度应由水位降深确定，地块含 DNAPL 时，井深度应达到隔水层顶部；井管可采用聚氯乙烯（PVC）材质，当抽提 NAPL 自由相时宜采用不锈钢材质井管；井滤管段应覆盖污染深度，可采用切缝式，切缝应根据地层特性和滤料粒径等级确定，抽提井的过滤材料宜采用分级的石英砂，滤管切缝宽度宜选用 0.2 mm，滤料粒径宜选用 0.3 mm~0.6 mm。过滤材料使用前应进行冲洗，确保不与污染物接触以防止外部杂质混入。抽提设备选型应符合下列规定：泵可选择液环式、旋转叶片泵或旋转活塞泵等，应满足井头真空度、系统真空度及抽提速率的要求，系统负压可介于 20~60 kPa，单井气体抽提速率宜为 0.3 m<sup>3</sup>/h~25 m<sup>3</sup>/h，单井液体抽提速率宜为 0.02 m<sup>3</sup>/h~0.5 m<sup>3</sup>/h；双泵多相抽提中，抽水泵可选择潜水泵或气动隔膜泵；可使用闸阀或蝶阀等类型阀门调节流量和真空度；单个抽提井顶端以及地面真空泵体进口端宜安装透明的 PVC 管或透明视窗。



### 6.5.3 分离净化工艺设计

6.5.3.1 本节对多相分离工艺设计进行了规定，主要包括：a) 应包括缓冲罐、气液分离器和油水分离器，并应与抽提部分设计配套兼容；b) 油水分离器可采用管式或聚结板式；c) 相分离容器内应安装液位计控制系统；d) LNAPL 流出口应安装在油水分离器上部，DNAPL 流出口应在油水分离器底部。

6.5.3.2 本节规定了多相抽提过程中产生的废气、废水和 NAPL 的处理，主要是参照国家和行业标准的规定执行。

### 6.6 强化多相抽提技术及设备要求

6.6.1 本节规定了当地块渗透系数低于  $10^{-6}$  cm/s 时，采用热强化，增溶强化提升多相抽提的工艺设计内容。

#### 6.6.2 热强化

6.6.2.1 本节主要参考《污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附》(HJ 1165) 的设计，针对热强化多相抽提，进行了部分的修改，热强化主要包括加热系统，抽提系统，分离系统，处理系统及监控系统，工艺流程图如图 6-2。

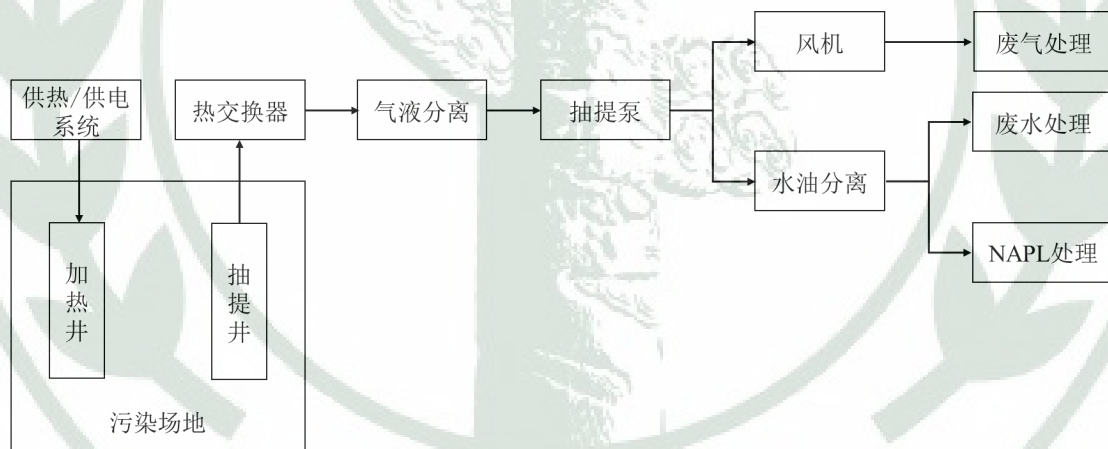


图 6-2 热强化多相抽提技术工艺流程图

6.6.2.2 应根据地块污染特征、修复时间和修复成本要求，确定多相抽提热强化的加热方式，一般可采用电阻加热、蒸汽强化，对土壤和地下水的加热温度不宜超过  $80^{\circ}\text{C}$ ，适用条件见表 6-2。

表 6-2 热强化多相抽提适用条件

加热方式	适合土质	适用条件	不适用条件
电阻加热	粉砂、粉土、壤土、黏土	(1) 适合于各种地层的污染区域修复，特别是低渗透性污染区域的修	(1) 不适用于基岩和裂隙等地质状况； (2) 地下有绝缘体构筑物时，对

		复； (2) 适用于挥发性有机物、含氯有机物和石油类等	修复效果影响较大； (3) 地下水流速大于 $10^{-4}$ m/s 的污染区域宜采用阻隔
蒸汽加热	沙砾、砂土、粉砂	(1) 适合于渗透性较好的地层； (2) 适合对挥发性有机物污染源区及污染物程度重的区域进行修复	(1) 不适用于地层均质性差的污染区域； (2) 污染深度浅及污染范围大时，由于热量损失过大及蒸汽注入压力受限，限制应用； (3) 地下水流速大于 $10^{-4}$ m/s 的污染区域宜采用阻隔

### 6.6.2.3 供热能源

本节规定了热强化能源类型，选择的原则和需求测算。供热能源选择根据现场及周边能源供应条件确定，能源需求量应通过能量平衡计算确定。

### 6.6.2.4 主要设备

本节规定了不同热强化方式的主要设备，电阻加热设备宜包括配电柜、可调式控制电源、温度监测设备等，主要材料宜包括电极、电缆、电极井填料、管材等，并应符合下列规定：蒸汽加热设备宜包括蒸汽锅炉、蒸汽输送管道、蒸汽注入井、温度监测仪、压力监测仪等。

### 6.6.2.5 加热井与抽提井数量及位置

加热井与抽提井数量及位置应根据地块污染物分布、抽提/热强化影响半径、修复目标、修复周期等确定，并应符合下列规定：

- a) 加热井应根据地块污染特征布置，宜采用正六边形或正三角形布局。加热井和抽提井数量比例宜在 4:1~1:1；
- b) 加热井最大深度应按污染最深的介质深度确定。宜为最深深度向下延伸 1~3 m。

6.6.2.6 经过换热器冷却后的气液温度宜低于 35℃。

6.6.2.7 抽提后续处理应与 6.5 规定一致。

### 6.6.3 增溶强化

本节主要是参考《Technical and Regulatory Guidance for Surfactant/Cosolvent Flushing of DNAPL Source Zones》并结合实际的场地应用提出设计要求，增溶强化一般通过表面活性

剂/共溶剂增加 DNAPL 在水中的溶解度来提高抽提效率。增溶强化系统应在多相抽提的基础上增加注入装置和回收装置，工艺流程图见图 6-4。

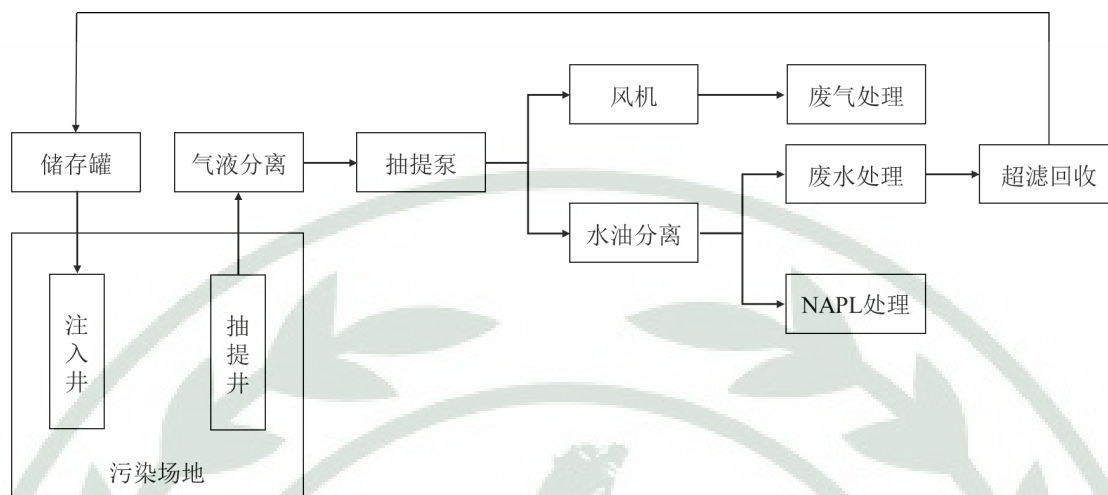


图 6-4 增溶强化多相抽提技术工艺流程图

- a) 注入井设计应符合下列规定；
  - 1) 注入井的设计应符合 T/GIA 002 的规定；
  - 2) 井管安装深度至地下水污染深度以下 1 m，其中筛管深度一般为地下水位以上 0.5 m 至污染深度以下 0.5 m，筛管段设计透水率 20%以上；
  - 3) 井管材质与常规抽提井类似，可采用 PVC、不锈钢等，此外还应满足注入压力要求和循环水或药剂扩散的要求；
  - 4) 抽提井和注入井也可共用一井，抽提/注入井兼具抽提、注入功能，并可按需切换，井间距较常规多相抽提井可适当减小；
- b) 表面活性剂/共溶剂配置应根据地块地下水的 pH 值、温度、电导率值、总溶解固体以及阳离子/阴离子的含量确定；
- c) 选取表面活性剂/共溶剂应分析生物降解性和降解产物，对人体、动物和植物的毒性，成本等因素；
- d) 回收系统可采用超滤技术将表面活性剂/共溶剂回收再利用，超滤压力宜为  $1 \times 10^5$  Pa~ $6 \times 10^5$  Pa，膜的平均孔径为 1 nm~10 nm。

## 6.7 监测与控制

监控是工艺控制和质量控制的重要保证，通过对工艺参数检测，及时调整和优化工艺，保证工程质量和修复效果，降低修复成本。本节规定了多相抽提设计阶段、启动阶段、运行阶段和强化阶段的工艺参数监控的要求。



### 6.7.1 多相抽提监测

6.7.1.1 多相抽提系统设计阶段，工艺参数监控应包括下列内容：

- a) 土壤真空/压力水头分布；
- b) 土壤特性；
- c) 测压管水头分布；
- d) NAPL 厚度和污染面积；
- e) 污染物浓度、NAPL 回收量等化学参数。

6.7.1.2 多相抽提系统启动阶段，工艺参数监控应包括下列内容：

- a) 真空/压力；
- b) 水位分布；
- c) 流体流动；
- d) 抽提气体中 VOC 浓度；
- e) 地下水含氧量、浊度、氧化还原电位、电导率和 pH；
- f) 大气压力；
- g) 分离气体相对湿度；
- h) 真空泵的温度；
- i) 气液/油水分离器中液位等。

6.7.1.3 多相抽提系统运行阶段，工艺参数监控应包括下列内容：

- a) 地下真空/压力/压头分布；
- b) 水/气和 NAPL 流动；
- c) 包气带污染物；
- d) 抽提土壤气中 VOC 浓度；
- e) 地下水含氧量、浊度、氧化还原电位、电导率和 pH；
- f) 土壤水分变化。

6.7.1.4 启动阶段，监测频率应至少保持每天一次，同时应做好巡检工作，巡检内容应包括多相抽提设备、抽提井、管路系统的运行状况等。

6.7.1.5 运行期间应对监测井和抽提井中的土壤气、地下水中目标污染物监测，每周不应少于 1 次，液位监测每天不应少于 1 次，可分别按 HJ/T 166，HJ 164 执行。

说明：多相抽提系统运行初期产生的废气、废水浓度较高且负荷波动显著，而后期浓度则会显著降低且趋于平稳，因此实施期内第一个月监测频次应适当高一些，后期监测频

次可适当降低。

6.7.1.6 废水、废气处理过程中应保持每日监测。采用活性炭罐吸附处理废气时，可在废气排放口采用火焰离子检测器（FID）或光离子检测器（PID）对进行挥发性有机物监测。

说明：为评估多相抽提工艺配套废气、废水处理系统的有效性并判断修复实施过程中废气、废水是否能够达标排放，应对废气、废水处理设施的出口处污染物浓度进行日常监测。如废气排放口浓度明显增大应停止抽提，更换活性炭罐中的活性炭。

6.7.1.7 水位监测每周不应少于 1 次。

## 6.7.2 强化多相抽提监控

6.7.2.1 热强化抽提监控应符合下列规定：

a) 地下温度监测点可安装在加热井内，也可安装在加热井之间。宜在加热点的远点、冷点位置设置温度监测点，纵向上监测点的设置间隔宜保证每个点位上有 3~10 个监测点，数量应满足修复地块的地下土层性质和类型的要求；

b) 地下压力监测井可安装在加热井、抽提井的井口或井管内，也可安装在加热井和抽提井之间，宜在加热区域内高温高压点及低温低压点等位置设置压力监测点；

c) 地下温度、压力监测点的安装及设置数量应按监控目的、地块特征确定。

6.7.2.2 热强化系统参数监控应包括下列内容：

a) 电阻加热监控指标还应包括加热电流、地层电阻率、加热区地表电压等；

b) 蒸汽强化抽提监控指标还应包括入口处的蒸汽温度、蒸汽压力、蒸汽流量等；

c) 地下温度应连续监测，可采用热电偶、光纤分布式温度传感器以及电阻层析成像技术等，应对温度数据分析，适时对加热工况调整；

d) 地上废气、废水抽提总管及部分抽提井口温度、压力；

e) 根据现场运行状况，可对修复区域及周边的土壤、地下水取样监测，采样、制样及送检过程中应采取防止污染物在高温作用下逸散和人员烫伤的措施，取样后应对表面阻隔层恢复，监测指标应包括目标污染物，取样监测方法应符合 HJ 25.2 的规定。

6.7.2.3 增溶强化

增溶强化抽提监测应符合下列规定：

a) 在 6.7.1 的基础上应对注入的表面活性剂/共溶剂监控，检测回收液体中的污染物浓度；

b) 监测井应布置于待修复区的上方、下方和周围，测量表面活性剂的迁移和污染物浓度；

c) 地下水质量监控，在表面活性剂/共溶剂注入前，应收集地下水样本，确定初始污染物浓度，注入完毕后的地下水采样应在地下水系统达到平衡后进行，注入修复期间，可对处理区外的区域进行地下水样本收集，验证在修复期间注入物是否产生迁移；

d) 注入过程中应监控注入和抽提物的流速，定期记录注入和回收率，以及输送流量、工艺单元的压力、过滤器和膜的完整性、中间和废物储存罐中的液位、出水质量和空气排放质量；

e) 间隙水 pH 可采用电位法测定，可参照 HJ 962 执行；

f) 地下温度应连续监测。可通过热电偶、光纤分布式温度传感器以及电阻层析成像技术等方式获取。

## 6.8 施工与验收

施工与验收是多相抽提修复工程的重要环节。本节规定了多相抽提和强化多相抽提修复工程的施工应符合国家和行业相应专项工程施工规范、施工程序、设备材料选择、管理文件、调试和验收的要求。

## 6.9 运行与维护

### 6.9.1 运行

当多相抽提系统连续运行 48 h 以上时，可进入稳定运行阶段；当达到预期修复目标时，可关停系统。根据实际工程的经验，大部分的热强化和增溶强化可与多相抽提同时进行。

**说明：**多相抽提系统启动阶段各工序、设备之间需要相互磨合，此阶段需有操作人员在现场进行实时监控和调试，稳定运行后可减少操作人员的监控频率。

### 6.9.2 维护

6.9.2.1 维护应制定修复工程设备定期维护计划。

6.9.2.2 维护时，应根据技术要求与规范对设备定期检查、维护和更换部件和材料。维护对象宜包括抽提管井、管线、多相分离设备、后处理设备、加热组件、注入管井、水平阻隔层、转动设备等。

6.9.2.3 维护时，可采用台账记录设备连续稳定运转时间，故障发生时间、原因、排除方法，测试期间故障次数、故障频率，评估并记录故障的程度。

## 7 标准实施的环境效益与经济技术分析

标准内容体现了有机污染地块多相抽提修复技术的完整流程。本标准推荐的技术参数和强化技术为当前较为完整的多相抽提修复模式，选取的参数符合我国实际情况，且借鉴了相当数量的污染地块修复实例，是成熟、可靠、优化的修复技术。标准实施后可带来以

下效益:

(1) 有利于国家及我省相关环保政策的贯彻执行, 本标准严格遵循国家《土壤污染防治行动计划》关于预防为主、保护优先、风险管控的土壤污染防治总体思路, 从技术层面提出了污染地块多相抽提修复工程的总体程序、内容和要求, 是《上海市土壤及地下水污染防治“十四五”规划》的重要任务之一, 对进一步提高多相抽提技术修复工作的规范性, 节省工程投资, 全面提升工程质量和效率, 推进生态文明环境建设, 具有重要而深远的意义, 并且能实现良好的环境效益和社会效益;

(2) 在土地资源越来越珍贵的今天, 如何经济、快速、高效地使用多相抽提技术修复污染的土壤及地下水, 使其符合功能区调整后的土地再利用类型功能要求, 已成为现代城市环境管理中一项极为重要的挑战。本标准有助于进一步合理合规的推进有机污染地块多相抽提修复技术的发展, 同时也对进一步健全多相抽提技术体系具有积极的推动作用。

## 8 标准实施建议

本标准通过对国内外相关文献的整理与分析、实地调研和咨询, 总结近几年来国内外多相抽提与强化多相抽提技术从设计、施工、监控、验收等方面的有效经验, 经现场实际调研并结合资料整合, 完成了本标准的制定。本标准包括了多相抽提与强化多相抽提技术的设计、施工等方面的内容, 涉及面广、技术性强。建议在本标准实施过程中广泛听取和收集各方面的意见和建议, 根据实际应用情况, 对本标准进行不断地修订和完善, 使其实用性和可操作性与时俱进, 不断满足环境管理和环保工程建设的需求。

## 9 征求意见处理情况说明 (送审稿)

## 10 技术审查工作情况说明 (报批稿)

ACEF

---