ICS XXXXXXX
Z XXX

# 团　　体　　标　　准

T/ACEF ***-2023

# 有机污染地块修复技术规范　多相抽提

**Technical specification for organic contaminated site remediation multiphase extraction**

(征求意见稿)

2023-XX-XX 发布　　2023-XX-XX 实施

中 华 环 保 联 合 会　发 布

ACEF

# 目 次

前 言 ..... II
1 范围 ..... 1
2 规范性引用文件 ..... 1
3 术语和定义 ..... 2
4 基本规定 ..... 3
5 多相抽提设计 ..... 3
6 强化多相抽提设计 ..... 6
7 监测与控制 ..... 8
8 施工与验收 ..... 10
9 运行与维护 ..... 11

ACEF

# 前　言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件为首次发布。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华环保联合会提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件主编单位：上海大学

本文件参编单位：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

本文件主要起草人：

ACEF

# 有机污染地块修复技术规范　多相抽提

## 1　范围

本文件规定了有机污染地多相抽提修复技术的基本规定、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技术的设计、施工、验收及运行维护。

## 2　规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改版）适用于本文件。

GB 8978　污水综合排放标准

GB 13271　锅炉大气污染物排放标准

GB 16297　大气污染物综合排放标准

GB/T 20801　压力管道规范 工业管道

GB 37822　挥发性有机物无组织排放控制标准

GB 50016　建筑设计防火规范

GB 50058　爆炸危险环境电力装置设计规范

GB 50140　建筑灭火器配置设计规范

GB 50202　建筑地基基础工程施工质量验收标准

GB 50268　给水排水管道工程施工及验收规范

GB 50273　锅炉安装工程施工及验收规范

GB 50275　风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范

GB 50296　管井技术规范

GB 50727　工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范

HJ 25.2　建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则

HJ 25.4　建设用地土壤修复技术导则

HJ 25.5　污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则

HJ 25.6　污染地块地下水修复和风险管控技术导则

HJ 164　地下水环境监测技术规范

HJ/T 166　土壤环境监测技术规范

HJ 682　建设用地土壤污染风险管控和修复术语

HJ 962　土壤 pH 值的测定 电位法

HJ 1095　　芬顿氧化法废水处理工程技术规范

HJ 1165　　污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附

HJ 2000　　大气污染治理工程技术导则

HJ 2007　　污水气浮处理工程技术规范

HJ 2015　　水污染治理工程技术导则

HJ 2025　　危险废物收集 贮存 运输技术规范

HJ 2026　　吸附法工业有机废气治理工程技术规范

HJ 2027　　催化燃烧法工业有机废气治理工程技术规范

T/GIA 002　　污染地下水原位注入修复技术指南

## 3　术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

**多相抽提　multiphase extraction**

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机污染物的技术。

[来源：HJ 1165，有修改]

3.2

**强化多相抽提 enhanced multiphase extraction**

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。

3.3

**热强化　thermal intensification**

采用电阻加热或蒸汽加热的方式，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。

3.4

**电阻加热　electrical resistance heating**

电流通过污染区域，采用电流热效应加热土壤和地下水中有机物使其蒸发或降低其粘度的技术，也称为电流加热。

[来源：HJ 1165，有修改]

3.5

**蒸汽加热　steam heating**

高温水蒸气注入污染区域，加热土壤、地下水中有机物使其蒸发或降低其粘度，提升目标污染物抽提效果的技术。

[来源：HJ 1165，有修改]

3.6

**增溶强化　solubilized intensification**

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。

3.7

**非水相液体　non-aqueous phase liquid，NAPL**

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）。

[来源：HJ 682，有修改]

## 4　基本规定

4.1　修复工程污染防治设施应与主体工程同时设计、同时施工、同时运行。

4.2　多相抽提技术可适用于处理气态有机物、溶剂性有机物、土壤吸附态有机物、NAPL 污染的地块。多相抽提技术适用的地块条件宜符合表 1 的规定。

**表 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$^2$ ~ $10^{-8}$ cm$^2$ |
| 导水系数 | < 0.72 cm$^2$/s |
| 空气渗透性 | < $10^{-8}$ cm$^2$/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、NAPL 等 |
| 地下水埋深 | > 0.9 m |
| 土壤含水率 | 40%~60%饱和持水量 |

4.3　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，应符合 GB 16297、GB 37822、GB 8978、HJ 2025 排放标准的规定。

4.4　修复处理后的土壤和地下水中目标污染物含量应满足修复目标值的要求。

## 5　多相抽提设计

### 5.1　一般规定

5.1.1　多相抽提修复工程设计应符合 HJ 25.4、HJ 25.5、HJ 25.6 的规定。

5.1.2　工程设计前，应对地下构筑物或埋藏物排查，应排除安全隐患。

5.1.3　多相抽提系统设计方案应根据地块污染特征、地质及水文地质条件、修复目标、修复周期、周边环境敏感点、能源供给条件等，并结合调研试验结果确定。

5.1.4　设计方案宜包括多相抽提单元、分离与净化单元。

5.1.5　抽提井布设方案、系统运行参数等应经试验确定。

5.1.6 电气系统设计应符合 GB 50058 的规定。

5.1.7 给水、排水设计应符合 GB 50268 的规定。

5.1.8 防火间距、安全疏散设计应符合 GB 50016 的规定。

5.1.9 灭火器配置应符合 GB 50140 的规定。

5.2 **系统设计**

5.2.1 多相抽提系统宜由抽提单元、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 1。

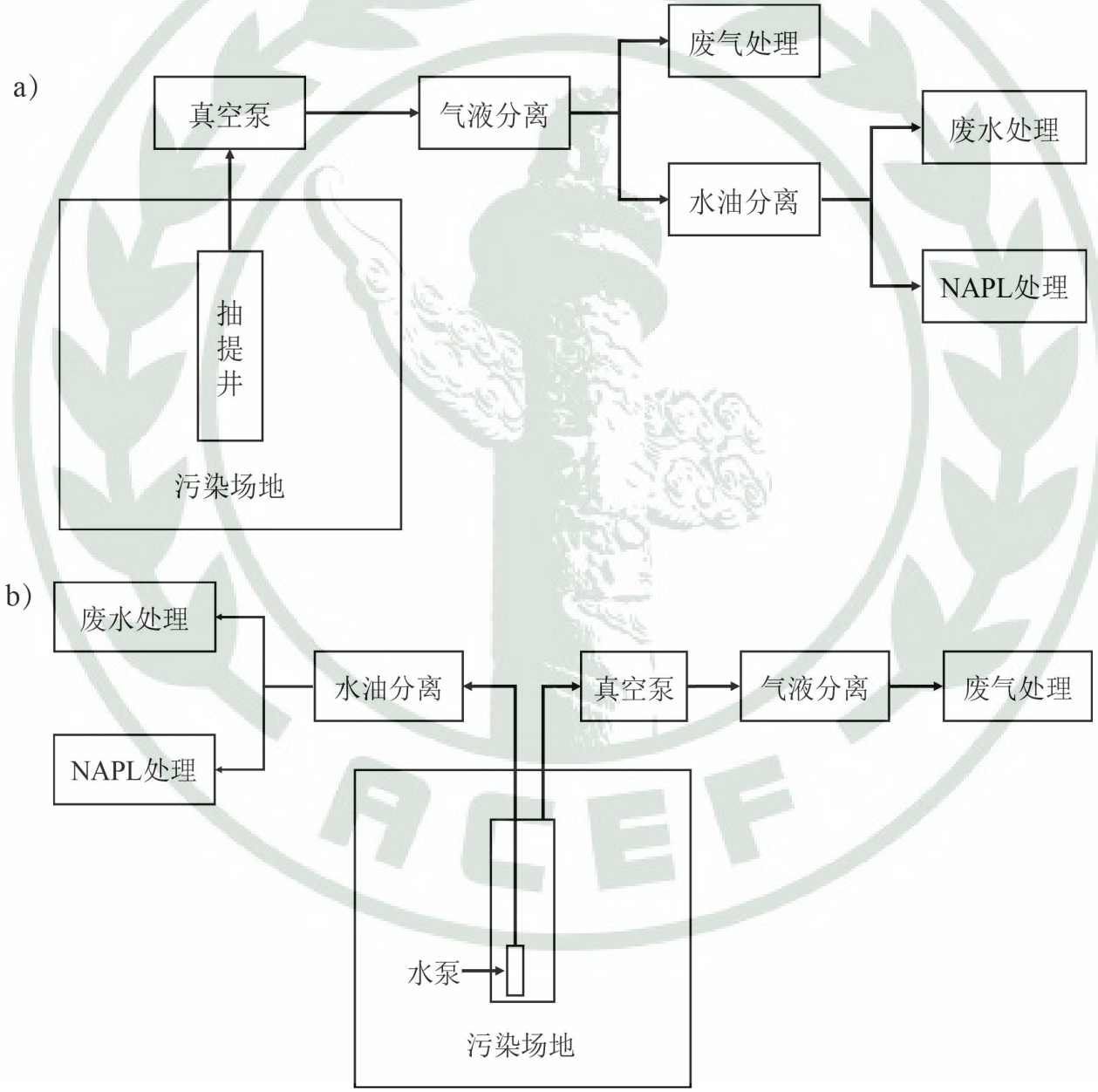


**图 1 多相抽提技术工艺流程。a）单泵系统，b）双泵系统**

5.2.2 多相抽提建井应符合下列规定：

a）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；

b）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；

c）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；

d）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；

e）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。

5.2.3 抽提设备选型应符合下列规定：

a）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 $m^3$/h~25 $m^3$/h，单井液体抽提速率宜为 0.02 $m^3$/h~0.5 $m^3$/h；

b）双泵多相抽提中，抽水泵可选择潜水泵或气动隔膜泵；

c）可使用闸阀或蝶阀等类型阀门调节流量和真空度；

d）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。

## 5.3 分离净化工艺设计

5.3.1 多相分离工艺设计应符合下列规定：

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。

5.3.2 多相抽提后的废气处理，应符合下列规定：

a）废气处理设计应符合 HJ 2000 的规定；

b）废气处理工艺宜采用热氧化、催化氧化、冷凝、吸附、浓缩、生物滤池或燃烧等，吸附法可参照 HJ 2026 执行，催化燃烧法可参照 HJ 2027 执行；

c）尾气排放应符合 GB 16297、GB 37822 的规定。

5.3.3 多相抽提工程废水处理单元宜对抽出的污染地下水和废水等集中处理，并应符合下列规定：

a）废水处理设计应符合 HJ 2015 的规定；

b）废水排放应符合 GB 8978 的规定；

c）废水处理工艺宜采用空气吹脱、碳吸附、高级氧化、生物反应器等，吹脱法可参照 HJ 2007 执行，高级氧化法可参照 HJ 1095 执行。

5.3.4 NAPL 自由相污染物的收集、贮存和运输应符合 HJ 2025 的规定。

## 6 强化多相抽提设计

6.1 当地块渗透系数低于 $10^{-6}$ cm/s 时，可采用强化手段提升多相抽提效率。可采用热强化，电强化，增溶强化等措施。

### 6.2 热强化

6.2.1 热强化宜包括加热系统，抽提系统，分离系统，处理系统及监控系统，工艺流程图如图 2。

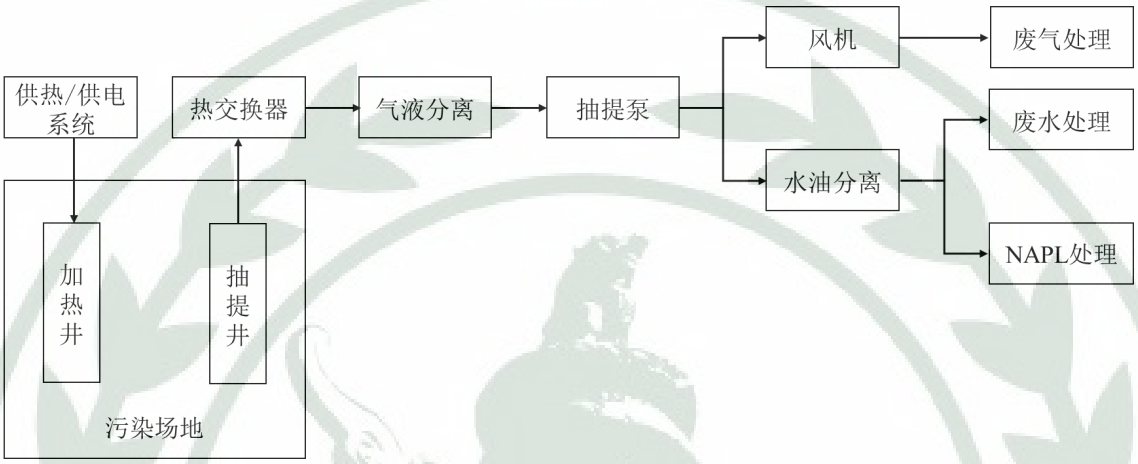


**图 2 热强化多相抽提技术工艺流程图**

6.2.2 热强化加热方式应根据地块污染特征和修复成本确定，可采用电阻加热或蒸汽加热，土壤和地下水温度不宜超过 80 ℃，适用条件见表 2。

**表 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复；<br>(2) 适用于挥发性有机物、含氯有机物和石油类等 | (1) 不适用于基岩和裂隙等地质状况；<br>(2) 地下有绝缘体构筑物时，对修复效果影响较大；<br>(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；<br>(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；<br>(2) 不适用于污染深度浅及污染范围大的地块；<br>(3) 地下水流速 $10^{-4}$ m/s 的污染区域宜采用阻隔 |

6.2.3 供热能源选择应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，并应符合下列规定：

a) 电加热可选用工频交流电；

b) 蒸汽加热可采用蒸汽锅炉，可参照 GB 50273，锅炉污染物排放应符合 GB 13271 的规定。

#### 6.2.4 主要设备

6.2.4.1 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：

a）电极宜采用具有良好导电性、耐腐蚀的金属/非金属材料。在电极和井壁之间宜设置导电填料增强电极井的导电性，可选用石墨和不锈钢球等。修复区域的跨步电压应小于 15V，跨步电压测试可采用电流、电压三极法；

b）温度、压力监测设备的选型应满足量程要求。

6.2.4.2 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，应符合下列规定：

a）埋地最低点处应设置疏水阀；

b）锅炉给水泵应自动运行；

c）蒸汽注入井的蒸汽输送管道、输送泵设计应符合 GB/T 20801 的规定；

d）温度、压力监测设备选型应满足量程要求。

### 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介于 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。

6.2.6 经过换热器冷却后的气液温度宜低于 35 ℃。

6.2.7 抽提后续处理应与 5 章规定一致。

## 6.3 增溶强化

增溶强化宜采用表面活性剂或共溶剂增加 DNAPL 在水中的溶解度。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 4。

**图 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，其中筛管深度宜位于地下水位以上 0.5 m 至污染深度以下 0.5 m，筛管段设计透水率应高于 20%；

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，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 $1\times10^5$ Pa~$6\times10^5$ Pa，膜的平均孔径为 1 nm~10 nm。

## 7 监测与控制

### 7.1 多相抽提监控

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/压力分布；

b）土壤特性；

c）测压管压力分布；

d）NAPL 厚度和污染面积；

e）污染物浓度、NAPL 回收量等化学参数。

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。

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。

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。

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。

7.1.6　废水、废气处理过程中，每日应监测出口处污染物浓度。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）对挥发性有机物监测。

7.1.7　水位监测每周不应少于 1 次。

## 7.2 热强化抽提监控

### 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。

### 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）蒸汽加热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。

## 7.3 增溶强化抽提监控

增溶强化抽提监控应符合下列规定：

a）在 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、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。

## 8 施工与验收

### 8.1 一般规定

8.1.1 施工前应由设计单位对设计交底，变更设计应经设计单位同意。

8.1.2 施工应制定施工组织方案。施工组织设计内容应包括工程概况、施工部署、施工方法、施工技术组织措施、施工计划、环境保护措施及施工总平面布置图。

### 8.2 施工内容

8.2.1 土壤钻探和抽提管井施工要求应符合 GB 50296 的规定。

8.2.2 多相抽提系统设备安装，应符合以下规定：

a）宜布置于室内，配备电气控制系统和通风设施，废气排放源应置于室外指定高度和位置。

b）风机、压缩机、泵安装工程施工应符合 GB 50275 的规定。

c）设备、设施和管件等的施工应符合 GB 50727 的规定。

8.2.3 抽提管路中仪表和组件应抗负压，宜包括真空计、流量控制阀、流量计、取样口、大气进气口、泄压阀和止回阀等。

8.2.4 地下加热单元的施工要求应符合 HJ 1165 的规定。

8.2.5 注入井的施工要求应符合 T/GIA 002 的规定。

### 8.3 调试

8.3.1 多相抽提运行前，应对下列设备和管道检查和调试：

a）管路设备连接；

b）真空泵状态；

c）电气仪表及控制系统；

d）加热设备检查；

e）配电设备检查；

8.3.2 抽提调试期间应对工程运行性能试验，宜包括下列内容：

a）抽提系统最大抽提量；

b）相分离器效率；

c）废水系统处理效率；

d）废气系统处理效率；

8.3.3 强化多相抽提期间还应对工程运行性能试验，宜包括下列内容：

a）污染区域加热效果；

b）能源和药剂消耗；

c）超滤系统回收表面活性剂的效率；

### 8.4 验收

8.4.1 土建工程验收应符合 GB 50202 的规定。

8.4.2 抽提管井的验收应符合 GB 50296 的规定。

8.4.3 风机、压缩机、泵安装工程验收应符合 GB 50275 的规定。

8.4.4 设备、设施和管件等的验收符合 GB 50727 的规定。

8.4.5 注入井的验收应符合 T/GIA 002 的规定。

## 9 运行与维护

### 9.1 运行

9.1.1 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。

9.1.2 强化多相抽提可与多相抽提同时进行。

9.1.3 对设备运行进行记录，包括计量仪器仪表读数、材料使用情况、记录应及时、准确、完整。

### 9.2 维护

9.2.1 维护应制定修复工程设备定期维护计划。

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。

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。