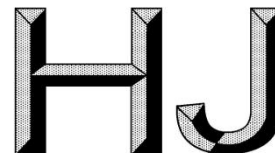


附件 8



# 中华人民共和国国家环境保护标准

HJ □□-20□□

---

## 污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附

Technical specifications of in situ thermal desorption for  
remediation project

(征求意见稿)

20□□-□□-□□发布

20□□-□□-□□实施

---

生 态 环 境 部 发 布

# 目 次

前 言.....	II
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	2
4 技术适用性与二次污染特征.....	3
5 总体要求.....	4
6 工艺设计.....	5
7 主要工艺设备和材料.....	11
8 监测与过程控制.....	13
9 主要辅助工程.....	14
10 劳动安全与职业卫生.....	14
11 施工与调试.....	16
12 运行与维护.....	17
附录 A（资料性附录）不同加热方式的适用条件.....	19

# 前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国土壤污染防治法》《土壤污染防治行动计划》等法律法规，防治环境污染，改善生态环境质量，规范污染场地原位热脱附修复工程建设及运行管理，制定本标准。

本标准规定了原位热脱附修复工程的总体要求、工艺设计、主要工艺设备和材料、检测与过程控制、主要辅助工程、劳动安全与职业卫生、施工与调试、运行与维护等的技术要求。

本标准为首次发布。

本标准由生态环境部科技与财务司、法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：生态环境部南京环境科学研究所、江苏大地益源环境修复有限公司、北京建工环境修复股份有限公司、北京高能时代环境技术股份有限公司。

本标准生态环境部 2000年00月00日批准。

本标准自 2000年00月00日起实施。

本标准由生态环境部解释。

# 污染土壤修复工程技术规范 原位热脱附

## 1 适用范围

本标准规定了原位热脱附修复工程的总体要求、工艺设计、主要工艺设备和材料、检测与过程控制、主要辅助工程、劳动安全与职业卫生、施工与调试、运行与维护等的技术要求。

本标准适用于原位热脱附修复工程的建设与运行管理，可作为工程设计、施工、运行及维护的参考依据。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB 3095	环境空气质量标准
GB 3096	声环境质量标准
GB 3836.1	爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求
GB 3836.15	爆炸性环境 第15部分：电气装置的设计、选型和安装
GB 3838	地表水环境质量标准
GB 8978	污水综合排放标准
GB 9078	工业炉窑大气污染物排放标准
GB 12348	工业企业厂界环境噪声排放标准
GB 12801	生产过程安全卫生要求总则
GB/T 12917	油污水分离装置
GB 13271	锅炉大气污染物排放标准
GB 14554	恶臭污染物排放标准
GB/T 14848	地下水质量标准
GB 16297	大气污染物综合排放标准
GB 19517	国家电气设备安全技术规范
GB/T 20801	压力管道规范 工业管道
GB/T 28001	职业健康安全管理体系 要求
GB/T 31962	污水排入城镇下水道水质标准
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 50028	城镇燃气设计规范
GB 50058	爆炸危险环境电力装置设计规范
GB 50087	工业企业噪声控制设计技术规范
GB 50140	建筑灭火器配置设计规范
GB 50187	工业企业总平面设计规范
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 50494	城镇燃气技术规范
GB 50727	工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范

GBZ 1	工业企业设计卫生标准
GBZ 2.1	工业场所有害因素职业接触限值：化学有害因素
GBZ 2.2	工业场所有害因素职业接触限值：物理因素
CJJ 33	城镇燃气输配工程施工及验收规范
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/T 389	环境保护产品技术要求 工业有机废气催化净化装置
HJ 580	含油污水处理工程技术规范
HJ 1095	芬顿氧化法废水处理工程技术规范
HJ 2000	大气污染治理工程技术导则
HJ 2006	污水混凝与絮凝处理工程技术规范
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 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
JGJ/T 141	通风管道技术规程

### 3 术语和定义

下列术语适用于本标准。

#### 3.1

**原位热脱附 in situ thermal desorption**

向地下输入热能，加热土壤、地下水，改变目标污染物的饱和蒸气压及溶解度，促进污染物挥发或溶解，并通过土壤气相抽提或多相抽提实现对目标污染物去除的技术。

#### 3.2

**热传导加热 thermal conductive heating**

热量通过传导的方式由热源传递到污染区域从而加热土壤和地下水的原位加热技术。可以通过电能直接加热的方式对加热井进行加热，也可以通过燃气等能源产生的高温热烟气等介质对加热井进行加热。

#### 3.3

**电阻加热 electrical resistance heating**

将电流通过污染区域，通过电流的热效应加热土壤和地下水的原位热脱附技术。也称为电流加热。

#### 3.4

**蒸汽强化抽提 steam enhanced extraction**

通过将高温水蒸汽注入污染区域，加热土壤、地下水，从而强化污染物抽提效果的原位热脱附技术。

#### 3.5

**爆炸极限 explosive limit**

又称爆炸浓度极限。可燃气体或蒸气与空气混合后能产生爆炸的浓度范围。

### 3.6

爆炸极限下限 lower explosive limit  
爆炸极限的最低浓度值。

### 3.7

土壤气相抽提 soil vapor extraction

通过专门的地下抽提（井）系统，利用真空或注入空气产生的压力迫使非饱和区土壤中的气体发生流动，从而将其中的挥发和半挥发性有机污染物脱除，达到清洁土壤的目的。

### 3.8

多相抽提 multiple phase extraction

通过真空提取手段，抽取地下污染区域的土壤气体、地下水和油层到地面进行相分离及处理，以控制土壤和地下水中有有机污染的技术。

## 4 技术适用性与二次污染特征

4.1 原位热脱附技术适用于污染土壤和地下水中挥发性有机物、半挥发性有机物、石油烃、多氯联苯、二噁英等污染物的治理。

4.2 原位热脱附工程实施前，应按照国家相关标准规范对目标污染场地进行全面深入的调查。根据工程设计需要，收集相关资料，主要包括：

- a) 场地污染特征，包括污染物及浓度分布、污染深度、范围等；
- b) 场地地质和水文地质条件，包括：地层结构，土壤渗透性、导热导电特性，地下水位、流向等；
- c) 区域气象气候条件，包括气温、降水量、主导风向等；
- d) 地下构筑物及分布；
- e) 地块用途（现状及规划）；
- f) 周边敏感点及分布，包括居民点、地表水源地及地下水源地等；
- g) 能源供应条件，包括燃气、电力、蒸汽供应等。

4.3 热传导技术的加热温度通常在水的沸点以上；当地下水流速较大（大于  $10^{-4}\text{m/s}$ ），影响到修复区域加热时，应考虑地下水阻隔。

4.4 电阻加热技术的加热温度通常在水的沸点以下；为保证加热区域良好的导电条件，土壤的含水率宜保持在 20% 以上。

4.5 蒸汽强化抽提技术的加热温度通常不超过  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；为保证蒸汽传输和加热效果，适用于土壤的渗透系数在  $10^{-4}\text{ cm/s}$  以上的场地。

4.6 土壤或地下水治理修复过程中，加热区及系统内部的污染物蒸气浓度应低于爆炸极限下限，并设置相应的爆炸监测预警及应急装置。

4.7 当场地存在加热条件下可裂解产生剧毒物质的污染物时，应进行评估后再采用原位热脱附技术。

#### 4.8 修复过程中的二次污染主要包括：

a) 废气：包括热脱附产生的废气、燃料燃烧产生的废气及无组织排放的废气等。废气污染物主要包括原位热脱附修复涉及的目标污染物、颗粒物、非甲烷总烃等。

b) 废水：包括蒸汽冷凝水、抽出的污染地下水、钻井产生的废水、井点降水、清洗废水等。废水的污染物主要包括原位热脱附修复涉及的目标污染物等。

c) 固体废物：包括生活垃圾、包装材料、安装废料、钻井产生的泥浆，以及废水处理产生的污泥及冷凝废油/废液、废活性炭等固体废物。

### 5 总体要求

#### 5.1 一般规定

5.1.1 原位热脱附修复工程需遵循绿色修复的理念，避免能源浪费。

5.1.2 原位热脱附修复工程中防治污染和其他公害的设施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时运行。

5.1.3 原位热脱附处理后的土壤和地下水中污染物含量应满足场地修复目标的要求。

5.1.4 修复工程应因地制宜、科学合理，具备针对性和有效性。修复工艺设计应本着成熟可靠、技术先进、经济适用的原则，并考虑节能、安全、操作简便。修复工程应与修复工艺水平相适应。

5.1.5 应对原位热脱附修复工程施工和运行过程中所产生的废水、废气、固体废物及其它污染物进行治理，并达到 GB 8978、GB 16297、GB 14554、GB 12348 等国家、地方和相关行业排放标准要求。

#### 5.2 工程构成

5.2.1 原位热脱附修复工程由主体工程、辅助工程和配套设施组成。

5.2.2 主体工程包括：加热单元、抽提单元、废水废气处理单元、检测及控制单元等。

5.2.3 辅助工程包括：供电单元、阻隔、给排水和消防等。

5.2.4 配套设施包括：办公室、值班室、厂区围挡、道路等。

#### 5.3 总图布置

5.3.1 场址选择与总图布置应参照 GB 50187 的规定执行。

5.3.2 宜结合工艺特点和场地现状对办公区、加热区、控制设备区、能源供应区、材料加工区、废水废气处理区和危废暂存区等进行分区布置。

5.3.3 场地平面布置应遵从降低环境影响、方便施工及运行维护等原则，并按照消防要求留出消防通道和安全保护距离。

5.3.4 应综合考虑周边主要敏感目标的分布，废气、废水处理设备宜布置在主要敏感目标区域主导下风向处或远离主要敏感目标区域，以减少有害气体等对人群或环境的影响。

5.3.5 修复区域周边需设置围护和警示标志，禁止无关人员进入。

## 6 工艺设计

### 6.1 一般规定

6.1.1 原位热脱附修复工程针对污染土壤和地下水进行治理,总体设计应满足 HJ 25.4、HJ 25.5、HJ25.6 的规定。

6.1.2 修复工程设计前,应对地下构筑物或埋藏物进行彻底的排查,排除安全隐患。

6.1.3 应根据场地污染特征、水文地质条件、修复目标、修复深度、修复面积、修复周期、周边环境敏感点、能源供给条件等,并结合调研、小试、中试结果,确定原位热脱附系统的设计方案。

6.1.4 工艺设计方案主要包括加热模式、能源供应、加热/抽提井的布置、加热单元、抽提单元、监测控制单元、阻隔单元、废水废气处理单元等。

6.1.5 应开展原位热脱附中试试验确定技术适用性、加热模式、加热/抽提井布置方案、系统运行参数等。

### 6.2 工艺流程

6.2.1 根据加热方式的不同,原位热脱附可采用热传导加热、电阻加热以及蒸汽强化抽提等单一或几种技术联用。

6.2.2 原位热脱附系统主要包括加热单元、抽提单元、废气废水处理单元和监测控制单元等。加热单元包括供能系统和地下加热单元;抽提单元包括地下抽提和地面抽提单元;废水废气处理单元包括冷凝、气液分离和废水废气处理等单元;监测单元实现对温度、压力和运行参数等的监测;控制系统实现各生产工艺参数如温度、压力、流量、液位的控制。

6.2.3 原位热脱附的工艺流程为:在污染区域范围内设置加热井或电极井,对目标污染区域的土壤或地下水进行加热,达到污染物的挥发温度,再利用真空抽提井对气相/液相的污染物进行抽提,通过冷凝分离,再对提取出的气体和液体分别进行无害化处理,最后达标排放。具体工艺流程见图 1。

6.2.4 三种加热技术的适用性分析见附录 A。

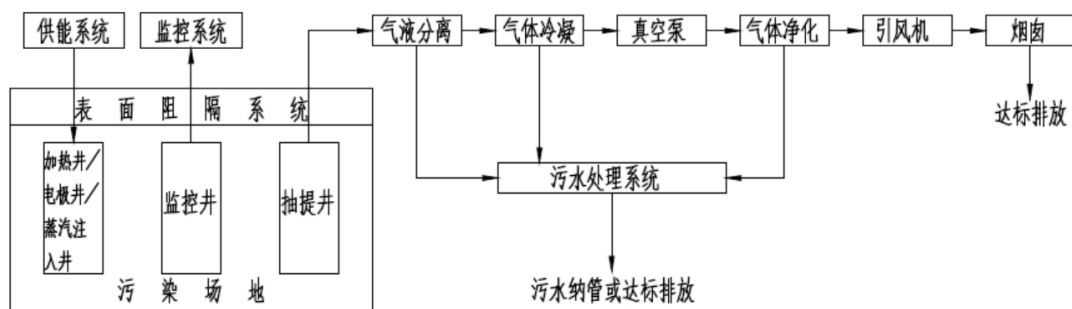


图 1 原位热脱附技术工艺流程图

### 6.3 工艺设计要求

#### 6.3.1 加热模式



6.3.1.1 应根据场地污染特征、修复时间和修复成本要求，确定原位热脱附修复工程的加热模式，具体包括：加热方式、加热目标温度；升温、控温、降温等不同工艺阶段的温度控制等。

### 6.3.2 供热能源

6.3.2.1 供热能源的选择由现场及周边能源供应条件确定。选用的能源需满足国家及地方相关规定，能源需求量应通过能量平衡计算确定。

6.3.2.2 电加热可选用工频交流电。

6.3.2.3 燃气燃油加热通常可选用管道天然气、压缩天然气、液化天然气、液化石油气、丙烷、柴油等。

6.3.2.4 蒸汽强化抽提采用高温蒸汽。场地周边存在满足项目要求的蒸汽源时宜优先选用。现场自行生产一般采用蒸汽锅炉，参照 GB 50273 等标准的要求，锅炉污染物排放应满足 GB 13271 要求。

### 6.3.3 加热井/抽提井的布设

6.3.3.1 应根据污染物的浓度与理化属性、污染范围、土壤的渗透性、土壤的导热系数、修复时间、修复目标要求等确定加热井与抽提井的数量及位置。

6.3.3.2 热传导的加热井和电阻加热的电极井间距一般为 2 m~6 m，电阻加热的电极井间距一般为 4 m~6 m，蒸汽注入井间距一般为 6 m~15 m。具体的井间距需根据实际场地水文地质条件、导电性能、污染状况以及处理效率、工期等因素来调整。

6.3.3.3 应根据场地污染特征布置加热井，一般采用正六边形或正三角形布局。

6.3.3.4 抽提井可与加热井设置在同一点位或靠近加热井设置，也可布设在以加热井为顶点构成的正六边形或正三角形的中心位置。

6.3.3.5 加热井和抽提井的数量比例应根据场地条件确定，宜在 4:1~1:1 之间。加热井和抽提井的布设示例见图 2、图 3。

6.3.3.6 有效加热及抽提范围应在水平及垂直方向上完全覆盖目标修复区块边界，并适度扩展，以确保达到修复效果。

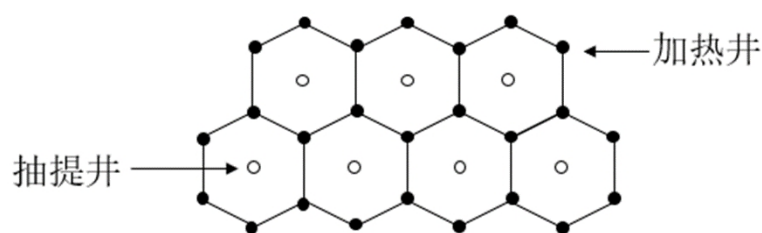


图 2 正六边形加热井/抽提井布设示例

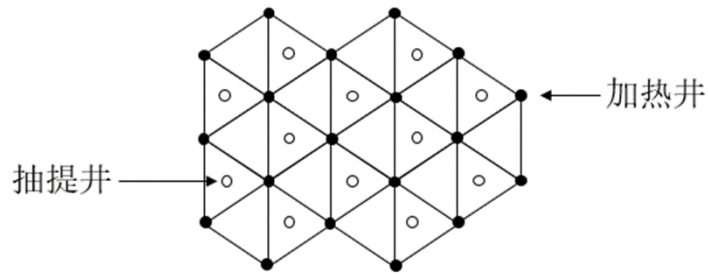


图3 正三角形加热井/抽提井布设示例

### 6.3.4 地下加热单元的构造及安装

6.3.4.1 热传导的加热单元为加热井，一般由加热元件和密封套管构成。

6.3.4.2 燃气热传导的加热元件为燃烧器，由送气模块、点火模块、监测模块和电控模块等组成。加热井结构示意图见图4。

6.3.4.3 电热传导的加热井由底部密封的金属套管内安置电加热元件共同组成，结构示意图见图5。

6.3.4.4 电阻加热的加热单元为电极井，由电极、电缆、填料和补水单元等组成。电极井结构示意图见图6。

6.3.4.5 蒸汽强化抽提的加热单元为蒸汽注入井，由底部密封、中部开筛的不锈钢井管构成，结构示意图见图7。蒸汽注入压力主要根据地层渗透性、加热温度要求、井间距综合确定。

6.3.4.6 加热井、电极井和蒸汽注入井的直径、厚度以及材料根据安装方法、深度、工作温度和场地污染特征进行确定。

6.3.4.7 加热井、电极井和蒸汽注入井可采用先成孔再置入的方式或直推置入的方式进行安装。

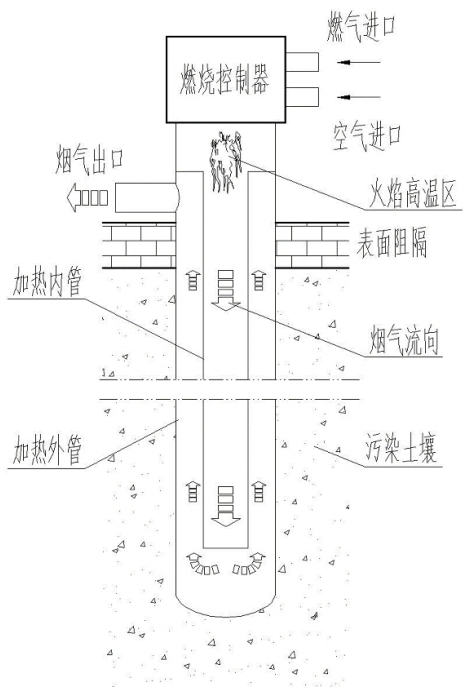


图 4 燃气热传导加热井构造示意图

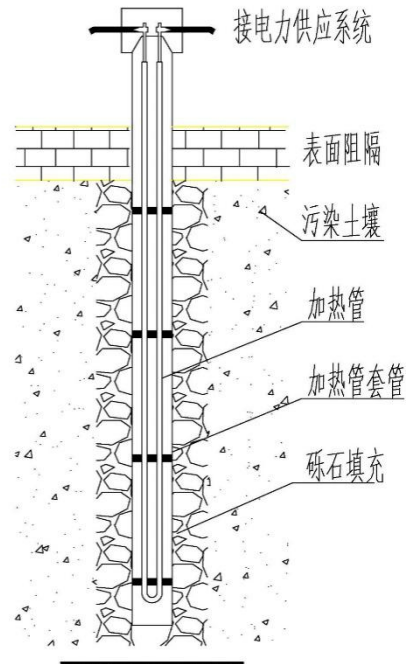


图 5 电热传导加热井构造示意图

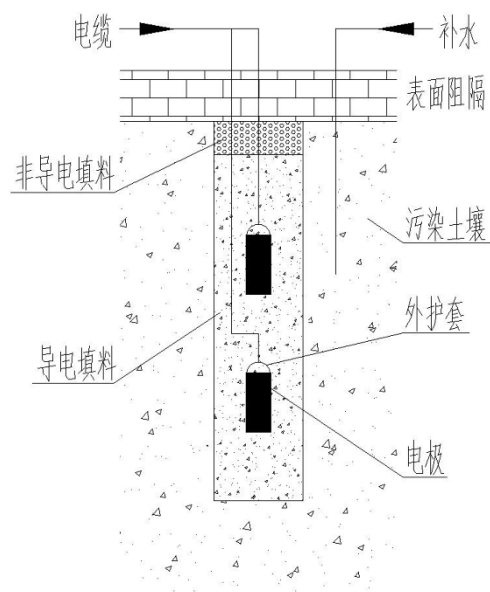


图 6 电极井构造示意图

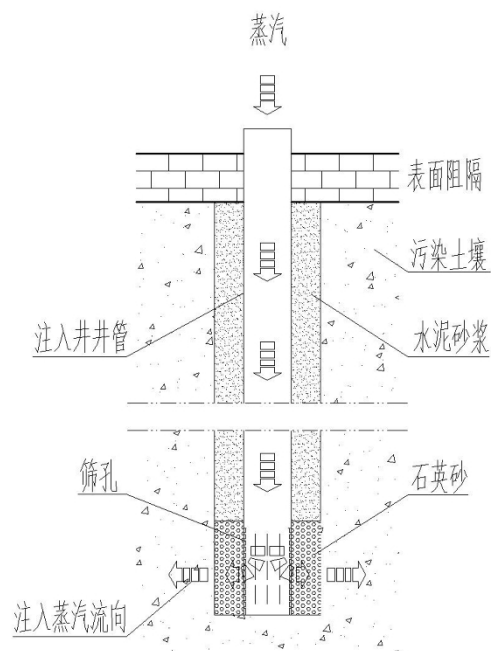


图 7 蒸汽注入井构造示意图

### 6.3.5 抽提单元

6.3.5.1 抽提单元包括抽提井、管路、动力设备、仪器仪表等。抽提井包括垂直抽提井和水平抽提井。

6.3.5.2 垂直抽提井由井口保护装置、井管、滤网构成。垂直抽提井的结构示意图见图 8。应

根据污染深度设置井管筛孔的位置。井管可外包金属滤网，再填充滤料。井口宜高出地面 0.2 m~0.5 m。

6.3.5.3 水平抽提井由井口保护装置、井管、滤网构成。水平抽提井放置在包气带中，其结构示意图见图 9。

6.3.5.4 垂直抽提井的钻进方法可采用螺旋钻进、冲击钻进、清水/泥浆回转钻进、直接贯入钻井成孔等方法。水平抽提井的钻进方式可采用人工开挖、机械开挖、水平定向等方法。

6.3.5.5 抽提井井管采用耐高温、耐腐蚀的无污染材质，井管之间连接可采用丝扣或焊接方式，不得使用有污染的粘结剂。井管可外包金属滤网，再填充滤料。井口地面应采取防渗措施。

6.3.5.6 应根据污染物的性质、修复面积及深度、土壤渗透性等，确定抽提所需的真空度及抽气速率并选取合适的真空设备。蒸汽强化抽提系统中抽提速率一般应为注入速率的 1~3 倍，抽提气真空负压系统应根据蒸汽注入速率来确定，一般为 20 kPa~60 kPa (0.2 atm~0.6 atm)。

6.3.5.7 抽提泵及管道等的设计安装需满足 GB/T 20801。

6.3.5.8 抽提单元应维持一定温度水平，或采取增加流速、增加刮板、扰流片等其他措施，以防止污染物在管路中大量冷凝对抽提系统造成影响。

6.3.5.9 抽提单元应保证污染气体不外泄至大气造成二次污染，应采取的措施包括：井口地面采取阻隔防渗措施；进行负压设计以保障在抽提单元运行过程中处于负压状态；保证抽提单元的动力设备稳定运行；抽提管道全密封。

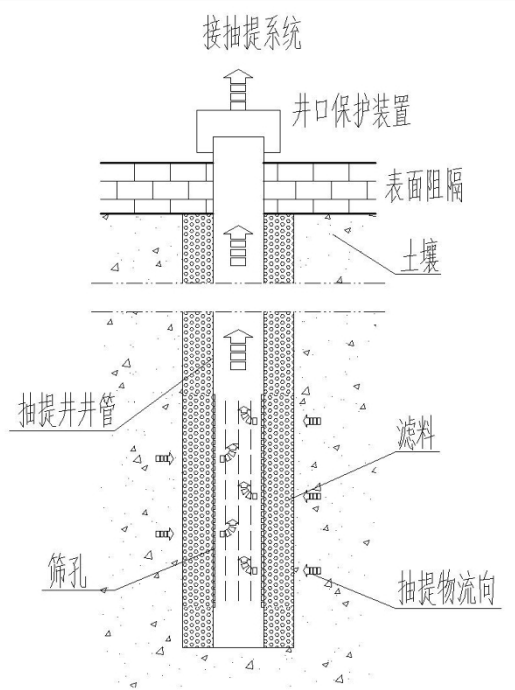


图 8 垂直抽提井结构示意图

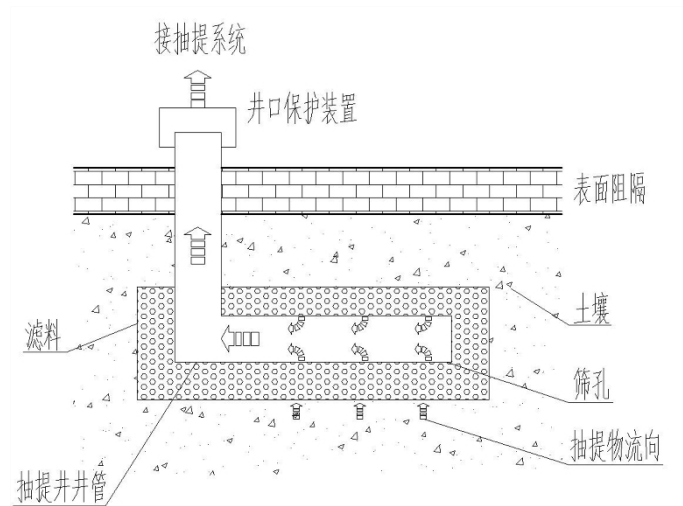


图9 水平抽提井结构示意图

### 6.3.6 地下水控制

6.3.6.1 当地下水入渗影响修复区域加热温度及修复效率时，应对修复场地进行地下水控制。

6.3.6.2 地下水控制可采用阻隔或地下水位控制等方法。

6.3.6.3 阻隔控制可在修复场地边界外布设止水帷幕、拉森钢板桩等阻隔设施。地下水位控制可采用井点降水或井管降水等方法。

### 6.3.7 表面阻隔

6.3.7.1 水平表面阻隔层面积上应大于抽提处理区域，阻隔材料应具有良好的隔热及防渗性能。一般从下至上依次为防渗层和混凝土层。混凝土隔热层的厚度一般在 10 cm~60 cm。

6.3.7.2 针对高温热脱附施工可能造成的高温灼伤和地下保温要求，应建设地上隔热保温层。地表温度应不高于 60℃。

6.3.7.3 采用电加热时，应在防渗层和混凝土层之前设置等电位层。

### 6.3.8 废气处理单元

6.3.8.1 原位热脱附工程的废气处理单元主要对热脱附抽提废气、废水吹脱处理等环节产生的有组织工艺废气进行处理。

6.3.8.2 废气处理工程设计及施工应符合 HJ 2000、HJ/T 389 等相关规定。废气排放应符合 GB 3095、GB 16297、GB 9078、GB 14554 及相关行业和地方标准要求。

6.3.8.3 废气处理单元的处理能力要同时满足预期的最大废气产生量、最高污染物负荷和尾气排放限值要求。设计的废气产生量应大于土壤和地下水中产生的污染物蒸气和水蒸汽产生量。

6.3.8.4 通过抽提系统收集到地面的废气经过气体冷凝、气液分离、油水分离等处理后，得到的尾气、冷凝水、废油分别进行处置。

6.3.8.5 尾气处理可采用吸附法、氧化法和燃烧法等。吸附法参照 HJ 2026。催化燃烧法参照 HJ 2027。

6.3.8.6 废气处理单元产生的废油有回收利用价值时宜进行回收，否则应按照固体废物鉴别相

关要求进行鉴别后处理。

### 6.3.9 废水处理单元

6.3.9.1 原位热脱附工程废水处理单元主要对抽出的污染地下水和热脱附抽提废水等进行集中处理。

6.3.9.2 废水处理设计施工按照 HJ 2015、GB 50268 等标准规范的规定执行。废水排放应符合 GB 8978、GB 3838、GB/T 14848、GB/T 31962 及相关行业和地方标准要求。

6.3.9.3 废水处理的技术工艺通常包括：油水分离、混凝、吹脱、高级氧化、活性炭吸附等。油水分离技术参照 GB/T 12917、HJ 580。混凝法参照 HJ 2006。吹脱法参照 HJ2007。高级氧化法参照 HJ 1095。

6.3.9.4 废水处理单元产生的废油有回收利用价值时宜进行回收，否则应按照固体废物鉴别相关要求要求进行鉴别后处理。废水处理产生的污泥应按危险废物进行管理。

### 6.4 固体废物处理处置

6.4.1 施工和运行过程中所产生的污染土壤等固体废物的处理应符合国家、地方和相关行业规定。

6.4.2 施工和运行过程中所收集的非水相液体、废弃活性炭等危险废物的处理应符合国家、地方和相关行业危险废物处理与处置的规定。

### 6.5 噪声控制

6.5.1 噪声控制应符合 GB 12348 和 GB/T 50087 的规定。

6.5.2 钻探、机房和处理设备的设计、安装、建设、运行应采取有效的隔声、消声、绿化等降低噪声的措施。噪声和振动控制的设计应符合 GB/T 50087 的规定；机房内、外的噪声应分别符合 GB 3096 的规定；厂界环境噪声排放应符合 GB 12348 的规定。

6.5.3 修复工程实施过程中，应该按照国家和地方相关规定对产生的噪声、废水、废气及环境空气进行实时监测。确保污染物排放符合国家和地方环境保护法规和标准的规定，防止二次污染。

## 7 主要工艺设备和材料

### 7.1 一般要求

7.1.1 主要工艺设备的性能应满足本标准 6.3 的要求。

7.1.2 当治理具有腐蚀性污染物时，管道、风机、阀门等应满足相关防腐要求。

7.1.3 爆炸性气体环境使用的加热设备，使用单位根据危险场所分类正确选择防爆电气设备的防爆型式，应符合 GB 3836.1 及 GB 3836.15 的规定。

### 7.2 热传导加热技术主要工艺设备和材料

7.2.1 燃气热传导的主要工艺设备有燃烧器、助燃风机、抽提泵、气液分离器、温度、压力监测仪等。主要功能与性能应满足以下要求：

- a) 燃烧器应具有调节燃气量及熄火保护功能；

b) 助燃风机的选择应满足以下条件:

- 1) 助燃风机流量范围应能满足系统风量变化要求;
- 2) 助燃风机的工作压力应能满足最不利点所需风压的要求;
- 3) 所选助燃风机应能经常保持在高效区内运行。

c) 抽提泵的选型应根据其所输送介质的特性及抽提泵的用途来确定, 并应满足下列条件:

- 1) 抽提泵的工作压力应能满足最不利点所需真空度的要求;
- 2) 所选抽提泵应能经常保持在高效区内运行。

d) 测温、测压设备需满足量程要求。

7.2.2 电热传导的主要工艺设备有配电柜、抽提泵、气液分离器、温度、压力监测仪等。主要材料有电加热棒、电缆、加热井填料、管材等。主要功能与性能应满足以下要求:

- a) 电加热棒需耐高温、耐腐蚀, 宜选择不锈钢、耐腐蚀合金作为加热棒的材质;
- b) 配电柜等温控系统需具有恒温控制功能;
- c) 抽提泵、测温、测压设备的选型要求同 7.2.1 c)、d)。

7.2.3 场地存在腐蚀性污染物时, 应选择不锈钢、耐腐蚀合金等作为加热井套管的材质。

### 7.3 电阻加热技术主要工艺设备和材料

7.3.1 电阻加热的主要工艺设备有配电柜、可调式控制电源、抽提泵、气液分离器、温度检测仪等。主要材料有电极、电缆、电极井填料、管材等。

7.3.2 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。

7.3.3 根据水文地质条件条件设置补水单元, 可考虑回用水作为补充水源。

7.3.4 抽提泵、测温、测压设备的选型要求同 7.2。

### 7.4 蒸汽强化抽提技术主要工艺设备和材料

7.4.1 蒸汽强化抽提技术主要工艺设备包括蒸汽锅炉、蒸汽输送管道、蒸汽注入井、抽提泵、气液分离器、温度、压力监测仪等。

7.4.2 为防止蒸汽冷凝水堵塞管路, 需在埋地最低点处设置疏水阀, 自动排出凝结水、空气及其它不凝结气体, 并阻止水蒸汽泄漏。

7.4.3 换热器的主要作用是将抽提井抽出的气、液进行冷却, 经过冷却设备后的气液温度不应大于 35℃。

7.4.4 锅炉给水泵应能自动进行给水、停泵, 水位高、低均能自动报警, 在水位极高、极低时锅炉燃烧机能自动停止运行。

7.4.5 抽提泵、测温、测压设备的选型要求同 7.2。

## 8 监测与过程控制

### 8.1 监测

#### 8.1.1 原位热脱附应对以下工艺参数或指标进行监控：

##### a) 燃气热传导的主要监控指标应包括：

- 1) 燃气流量。燃气流量应能满足该场地的能耗和加热目标需求；
- 2) 管道压力。燃烧器进口处的管道压力至少大于 3.4 kPa；
- 3) 燃烧器出气温度和一氧化碳含量应进行实时在线监测，确保燃烧充分；
- 4) 加热区地下温度、压力；
- 5) 地上废气、废水抽提总管及部分抽提井口温度、压力、目标污染物浓度；
- 6) 废水废气排放口污染物浓度。

##### b) 电加热热传导的监控指标包括：

- 1) 加热棒温度；
- 2) 加热电流；
- 3) 地下温度、压力；
- 4) 地上废气、废水抽提总管及部分抽提井口温度、压力、目标污染物浓度；
- 5) 废水废气排放口污染物浓度。

##### c) 电阻加热的监控指标包括：

- 1) 加热电流；
- 2) 地层电阻率；
- 3) 加热区地表电压；
- 4) 地下温度、压力；
- 5) 地上废气、废水抽提总管及部分抽提井口温度、压力、目标污染物浓度；
- 6) 废水废气排放口污染物浓度。

##### d) 蒸汽强化抽提的监控指标包括：

- 1) 入口处的蒸汽温度、蒸汽压力；
- 2) 蒸汽流量；
- 3) 地下温度、压力；
- 4) 地上废气、废水抽提总管及部分抽提井口温度、压力、目标污染物浓度；
- 5) 废水废气排放口污染物浓度。

#### 8.1.2 地下温度监测点应设置在不同位置及不同深度上。通常设置在加热井内或周边、相邻



加热井中间以及修复区域边缘，应在加热井的远点、冷点位置设置温度监测点。纵向上监测点的设置间隔应保证每个点位上有 3-10 个监测点。

8.1.3 地下温度应进行连续监测。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。应对温度数据进行分析，适时对加热工况进行调整，确保加热效果符合设计要求。

8.1.4 地下压力监测传感器可安装在加热井、抽提井的井口或井管内，也可安装在加热井和抽提井之间。地下压力监测点的安装位置及设置数量由监控目的、场地特征确定。

8.1.5 在修复工程实施过程中，应对排放的废气进行日常监测。废气采用活性炭吸附等工艺处理时，可在废气排放口采用火焰离子检测器或光离子检测器进行检测。废气采用热催化氧化工艺处理时，宜设置连续排放监测系统。

8.1.6 应定期对尾气排放口、加热区内及周边、厂区周边开展无组织大气污染排放监测。监测指标包括特征污染物、颗粒物、非甲烷总烃等。

8.1.7 原位热脱附运行过程中，根据现场条件，应对修复区域及周边的土壤、地下水进行取样监测。采样、制样及送检过程中应采取措施防止污染物在高温作用下逸散，并防止人员烫伤。

8.1.8 对修复区域的土壤进行热采样时，宜采用钻孔方式进行，可根据土层特征和钻探作业条件选择合适的土壤机械自走钻探设备或土壤小型轻量钻探设备。钻探过程应使用耐高温的钢制套管。取土管应立即置于预先准备好的冰浴槽中急冷降温，后再进行取样和分样。

8.1.9 地下水进行热采样时，受热部分采样管应与置于冰浴槽内的不锈钢换热盘管连接，不锈钢换热盘管出口与出水管连接，从出水管出口直接采集水样。不锈钢换热盘管长度以出水温度不超过环境温度为宜。

## 8.2 过程控制

8.2.1 监测系统应实时监测地下土壤和地下水的温度传输到控制系统。控制系统完成对各工艺参数的采集、显示、报警，同时执行生产的过程控制和顺序逻辑控制。

8.2.2 控制系统对各生产工艺参数如温度、压力、流量、液位等进行监测和数据处理，同时对生产设备工作状态进行画面监测和控制。

8.2.3 控制系统应配有安全联动装置，在发生突发情况时，可以关闭加热系统。

8.2.4 控制系统可采用中控室集中控制系统或分站就地控制系统。

## 9 主要辅助工程

9.1 电气系统设计应满足 GB 50058 的要求。

9.2 给水、排水设计应符合相关给水排水设计规范的有关规定。

9.3 防火间距、安全疏散的设计应符合 GB 50016 的规定。

9.4 应按照 GB 50140 的规定配置移动式灭火器。

## 10 劳动安全与职业卫生

### 10.1 一般规定

10.1.1 工程在设计、建设、运行过程中，应高度重视劳动安全和职业卫生，采取相应措施，

消除事故隐患，防止事故发生。

10.1.2 原位热脱附修复工程劳动安全和职业卫生应符合 GB 12801 的有关规定。

10.1.3 工程业主或施工单位应对劳动者进行劳动安全与职业卫生培训。

## 10.2 劳动安全

10.2.1 注意场地用电安全，电气装置应满足 GB 19517 的要求，电气设备应由专业电气人员操作。

10.2.2 电力控制装置应将电网电压调节至合适的电压等级再输送给加热电极。井场内的导电部件应连接并做等电位处理。变压器、配电盘、工艺设备及其它导电系统部件应按照相关要求连接并接地。

10.2.3 采用电阻加热的修复区域，跨步电压应小于 15V。可利用电流、电压三极法测量接地电阻的试验线路和电源来进行跨步电压的测试。

10.2.4 工程的受压容器应按压力管道设计的有关规定进行设计和检验，高温设备和管道应设置保温绝热层。地面管道、装置外表面温度宜不高于 60℃，同时在现场高温区域设置警示标志。项目现场应设置明显标志，严禁明火。

10.2.5 燃气设备应远离易燃易爆危险化学品存放地，安全距离应符合 GB 50494 等国家或相关行业标准规定。燃气管道设计及安装应符合 GB 50028、GB 50494 的要求。燃烧器与燃气管道连接应采用燃气专用波纹管。燃气管道安装后必须进行气密性检测。

10.2.6 燃气的运输、卸载、储存及气化站内的操作等工作必须由专业人员执行。操作人员必须穿戴防静电防护服。

10.2.7 蒸汽注入井的蒸汽输送管道、输送泵的设计安装需满足 GB/T 20801。

10.2.8 工程中各生产构筑物应设置便于行走的操作平台、走道、安全护栏和扶手，栏杆高度和强度应符合国家有关劳动安全卫生规定，主要通道应设置应急灯。

10.2.9 工程中在设备安装和检修时应有相应的防爆炸、烫伤及触电等安全保护措施。

## 10.3 职业卫生

10.3.1 工程职业卫生体系应符合 GB/T 28001 的规定，职业卫生设计应符合 GBZ 1 的规定，工作场所有害物质浓度应符合 GBZ 2.1 等标准的规定。

10.3.2 工程中有可能发生急性职业损伤的有毒、有害工作场所，应当设置报警装置，配备现场急救用品、冲洗设备、应急撤离通道和必要的泄险区。

10.3.3 现场人员应根据岗位的风险程度分级配备必要的劳动保护及个人防护装备，如防溅安全护目镜、全面罩、呼吸器、手套、防护服等防护用品。

10.3.4 使用过的劳保、防护用品必须严格管理，不得随意丢放。

10.3.5 应制订切实可行的人员伤害急救处置预案，并进行必要的训练和演习。

## 11 施工与调试

### 11.1 施工

11.1.1 原位热脱附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、施工程序及管理文件的要求。

11.1.2 施工中采用的工程技术文件、承包合同文件对施工质量验收的要求不得低于国家相关专项工程规范的规定。

11.1.3 施工应按设计文件、施工图纸和设备安装使用说明书的规定进行，工程变更应取得设计单位确认并出具设计变更文件后再进行施工。

11.1.4 设备、材料、器件等应符合国家相关标准，有产品的合格证书、产品性能检测报告。主要材料应有进场复验报告。

11.1.5 施工除遵守相关的施工技术规范以外，还应遵守国家的质量、劳动安全及卫生、消防等标准。

11.1.6 需要采用防腐蚀材质的设备、管理和管件等的施工和验收应符合 GB 50727 的规定。

11.1.7 施工单位除应遵守相关的施工技术规范外，还应遵守国家有关部门颁布的劳动安全、环境保护及卫生消防等强制性标准的要求。

11.1.8 燃气管道的验收应符合 CJJ 33 的相关规定。风机、压缩机、泵安装工程施工及验收规范应符合 GB50275 的相关规定。

11.1.9 在钻探建井过程中，应选择适应的施工方式防止地下污染物的扩散和迁移。

### 11.2 调试

11.2.1 工程安装、施工完成后应首先对相关仪器仪表进行校验，然后根据工艺流程进行分项调试和整体调试。

11.2.2 整体调试要求：各项系统运转正常，技术指标达到设计要求。

11.2.3 调试期间应对工程运行进行性能试验，主要包括以下内容：

- a) 污染区域加热效果；
- b) 抽提系统最大抽提量；
- c) 废水系统处理效率；
- d) 废气系统处理效率；
- e) 能源和药剂消耗试验；
- f) 运行稳定性试验。

## 12 运行与维护

### 12.1 一般规定

12.1.1 原位热脱附修复工程的运行、维护和安全管理的除执行本标准外，还应符合国家现行有关标准的要求。

12.1.2 应在满足设计工况的条件下进行，并根据工艺要求，定期对设备、电气、自控仪表及建（构）筑物进行检查维护，确保系统稳定可靠运行。

12.1.3 应建立健全与原位热脱附修复工程相关的各项规章制度，以及运行、维护和操作规程，建立主要设备运行状况的台账制度。

### 12.2 系统启动

12.2.1 原位热脱附修复工程运行应在系统通过整体调试、各环节运转正常、技术指标达到设计和合同要求后启动。

12.2.2 原位热脱附系统的启动顺序为废气处理单元—抽提单元—废水处理单元—供能单元—加热单元。

### 12.3 人员与运行管理

12.3.1 整个系统应设专人管理和运行，应对管理和运行人员进行定期培训，确保管理和运行人员系统掌握正常运行的操作和应急情况的处理措施。

12.3.2 运行操作人员上岗前应进行以下内容的专业培训：

- a) 必要的工艺技术知识、安全知识；
- b) 启动前的检查和启动要求条件；
- c) 设备的正常运行，包括设备的启动和关闭；
- d) 控制、报警和指示系统的运行和检查，以及必要时的纠正操作；
- e) 最佳运行条件参数的调节；
- f) 设备运行故障的发现、检查和排出；
- g) 事故或紧急状态下人工操作和事故处理；
- h) 设备日常和定期维护；
- i) 设备运行及维护记录，以及其他事件的记录和报告；
- j) 常用有毒有害化学品运输使用知识及防毒、防腐蚀、防火等安全知识和技能培训。

12.3.3 应建立治理修复系统运行状况、设施维护等的记录制度，主要记录内容包括：

- a) 系统的启动、停止时间；
- b) 材料进场质量分析数据、数量、时间；
- c) 系统运行工艺控制参数；

- d) 主要设备维修情况；
- e) 运行事故及处理、整改情况；
- f) 定期检验、评价及评估情况；
- g) 废水、废气排放处置情况。

## 12.4 维护

12.4.1 应制定治理修复工程设备的定期维护计划。

12.4.2 维护人员应根据技术要求与规范对工程设备开展定期检查、维护和更换必要的部件和材料。重点维护对象包括加热组件、水平阻隔层、转动设备等。

12.4.3 维护人员应做好相关维护保养记录。

## 12.5 事故应急处理措施

12.5.1 制定原位热脱附修复工程事故应急预案，当出现紧急事故时，应立即采取相应措施进行处理，尽可能地降低事故影响，包括对主体工程运行安全、人员伤亡、财产损失和环境破坏等。

12.5.2 原位热脱附修复工程事故应急措施内容至少应包括排放超标应急处理措施、事故停机应急处理措施、重要设备/系统故障应急处理措施、火灾事故应急处理措施、触电事故应急处理措施、突发停水/停电应急处理措施、人员伤亡应急救援措施等。

12.5.3 事故处理时应做好记录、分析原因，防止同类事故重复发生。

## 12.6 系统停止

12.6.1 运行和维护人员可根据现场的数据，包括温度记录、土壤地下水自检报告、尾水尾气记录等，判断系统的停止时间。

12.6.2 停机的顺序要求：加热单元—供能单元—抽提单元—废气处理单元—废水处理单元。

## 13 效果评估

13.1 原位热脱附修复工程效果评估应按 HJ25.5 等污染场地治理修复相关规范以及本标准的有关规定进行。

13.2 修复效果评估的采样布点在水平上采用系统布点法，采样深度应至少包括调查评估确定的污染深度及加热可能引起的污染物迁移深度，至少包括加热区域上端 2 m 深度范围。

13.3 应结合地块污染分布、土壤性质、加热井设置、温度场分布等，在高浓度污染物聚集区、温度相对较低、距离加热井和抽提井远端等修复薄弱区域、修复范围边界处等位置增设采样点。

13.4 原则上原位热脱附效果评估采样应在土壤升温效应等消失后开展。确需热采样的，应在修复区温度降低至 50℃ 后开展采样工作。土壤和地下水的热采样要求见 8.1。

## 附录 A

### (资料性附录)

#### 不同加热方式的适用条件

表 A.1 给出了不同加热方式的适用条件。

表 A.1 三种加热方式的适用性分析

加热方式	最高温度 /°C	适合土质	适用条件	不适用条件
热传导	750~800	粉砂、粉土、壤土、黏土、基岩裂隙	(1) 适合于各种地层，特别是低渗透及均质性差的污染区域修复； (2) 不受土壤含水率的限制，可适用于饱和土壤与非饱和土壤； (3) 适用于 VOCs、SVOCs、农药、二噁英以及 PCBs 等； (4) 可以实现定深加热或不同深度分段加热。	地下水流速较大的污染区域通常需要进行阻隔。
电阻加热	100~120	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； (2) 可用于饱和和非饱和土壤的修复； (3) 适用于 VOCs、含氯有机物和石油类等 SVOCs。	(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，对修复效果影响较大； (3) 土壤含水率过低时，需要进行补水； (4) 地下水流速较大的污染区域通常需要进行阻隔。
蒸汽强化抽提	170	砂砾、砂土、粉砂	(1) 适合对 VOCs 污染源区及污染物程度重的区域进行修复； (2) 可用于饱和和非饱和土壤的修复。	(1) 不适用于渗透系数较小 ( $<10^{-4}$ cm/s) 的区域； (2) 不适用于地层均质性差的污染区域； (3) 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； (4) 地下水流速较大的污染区域通常需要进行阻隔。