

上海市勘察设计行业协会团体标准

污染地块地下水抽提技术标准

(征求意见稿)

2024年 上海

## 前 言

本标准根据上海市勘察设计行业协会批准立项的要求，由上海勘察设计研究院（集团）股份有限公司会同上海环境科学院等业内相关单位，全面分析总结污染地块地下水抽提技术研究成果及实践经验，针对上海市污染地块地下水抽提所涉及的技术问题作了细化规定，对规范污染土与地下水协同修复，保障生态环境和建设工程安全，具有重要意义。

本标准共分 8 章。内容包括：1 总则；2 术语与符号；3 基本规定；4 勘察要点；5 设计；6 施工；7 监测与检测；8 安全防护。

本标准主编单位上海勘察设计研究院（集团）股份有限公司和相关参编单位承诺对《污染地块地下水抽提技术标准》中的内容、数据的真实性和有效性负责。

本标准涉及到相关专利。本标准的发布机构对专利的真实性、有效性和适用范围无任何立场。该专利持有人已向本标准的发布机构保证，愿意同任何申请人在合理无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已经在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人：上海勘察设计研究院（集团）股份有限公司

地址：上海市杨浦区水丰路 38 号

邮编：200093 邮箱：sgidi@sgidi.com

本标准由上海市勘察设计行业协会负责管理，由上海勘察设计研究院（集团）股份有限公司负责具体内容解释。在执行过程中各单位若有修改意见建议，请反馈至上海勘察设计研究院（集团）股份有限公司。

主编单位：上海勘察设计研究院（集团）股份有限公司

参编单位：（排名不分先后）

上海环境科学研究院

上海建工环境科技有限公司

上海大学

华东师范大学

上海城投上境生态修复科技有限公司

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

上海市勘察设计行业协会

2024 年 4 月

# 目 次

|     |                  |    |
|-----|------------------|----|
| 1   | 总则 .....         | 1  |
| 2   | 术语与符号 .....      | 2  |
| 2.1 | 术语 .....         | 2  |
| 2.2 | 符号 .....         | 3  |
| 3   | 基本规定 .....       | 4  |
| 4   | 勘察 .....         | 6  |
| 5   | 设计 .....         | 8  |
| 5.1 | 一般规定 .....       | 8  |
| 5.2 | 抽提井设计 .....      | 8  |
| 5.3 | 抽提工艺设计 .....     | 10 |
| 5.4 | 原位水力循环工艺设计 ..... | 13 |
| 6   | 施工 .....         | 16 |
| 6.1 | 一般规定 .....       | 16 |
| 6.2 | 抽提系统施工 .....     | 16 |
| 6.3 | 抽提运行 .....       | 17 |
| 6.4 | 原位水力循环运行 .....   | 18 |
| 7   | 监测与检测 .....      | 20 |
| 8   | 安全防护 .....       | 22 |
|     | 本标准用词说明 .....    | 25 |
|     | 引用标准名录 .....     | 26 |

# 1 总则

**1.0.1** 为了在应用抽提技术的污染地块地下水修复工程中贯彻执行国家和上海市有关法律法规，实现生态环保的目标，做到技术先进、因地制宜、经济合理，根据上海地区地质与水文地质条件、地块污染特征和修复治理的技术水平，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于本市污染地下水抽提的设计、施工、过程监测与效果检验，不适用于放射性污染和致病性生物污染的地下水修复治理工程。

**1.0.3** 污染地下水抽提应根据地块的勘察、环境调查、人体健康风险评估成果及修复目标，结合环境保护要求和相关工程经验，科学合理编制设计方案，精心施工，严格监测。

**1.0.4** 污染地下水抽提除符合本标准外，尚应符合国家、行业和本市有关现行标准的要求。

## 2 术语与符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 污染地块 **contaminated site**

从事过有色金属冶炼、石油加工、化工、焦化、电镀、制革等行业生产经营活动，以及从事过危险废物贮存、利用、处置活动，且按照国家技术规范确认超过有关土壤环境标准的疑似污染地块。

#### 2.1.2 地下水污染羽 **groundwater contaminant plume**

污染物随地下水从污染源向周边移动和扩散时所形成的污染区域。

#### 2.1.3 地下水修复 **groundwater remediation**

采用物理、化学或生物的方法，降解、吸附、转移或阻隔地块地下水中的污染物，将有毒有害的污染物转化为无害物质，或使其浓度降低到可接受水平，或使其风险受控，达到地下水生态环境功能需求。

#### 2.1.4 目标污染物 **target contaminant**

在地块环境中其数量或浓度已达到对人体健康和生态受体具有实际或潜在不利影响的，需要进行修复和风险管控的关注污染物。

#### 2.1.5 地下水修复目标 **groundwater remediation goal**

由地块环境调查或风险评估确定的目标污染物对人体健康和生态受体不产生直接或潜在危害，或不具有环境风险的地下水修复终点。

#### 2.1.6 污染地下水抽提 **contaminated groundwater pumping**

通过在地块地下水污染范围内建设抽提井，利用抽提井将受污染地下水抽出的修复方法。

#### 2.1.7 给水度 **specific yield**

饱和土或岩层在重力作用下排出的水量与土或岩层体积的比值。

#### 2.1.8 捕获区 **capture zone**

地下水抽提形成的地下水位下降区域，区内污染地下水流向地下水抽提井。

#### 2.1.9 原位水力循环 **In situ hydraulic cycling**

在污染地下水抽提过程中，在抽提井和注入井注入药剂或清水，使地层介质中的污染物溶解性和迁移性增强，通过控制抽提和注入形成的水力梯度，实现抽提和注入的动态循环，提高地下水抽提效果。

## 2.2 符号

$Q$ ——污染地下水抽提量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ ) ;

$k$ ——渗透系数 ( $\text{m}/\text{d}$ ) ;

$H_0$ ——潜水含水层厚度 ( $\text{m}$ ) ;

$s_0$ ——污染地下水水位降深 ( $\text{m}$ ) ;

$R$ ——污染地下水抽提影响半径;

$D_{50}$ ——滤料的平均粒径 ( $\text{mm}$ ) ;

$d_{50}$ ——含水层土的平均粒径 ( $\text{mm}$ ) 。

$h_m$ ——污染地下水抽提动水位至含水层底面的深度 ( $\text{m}$ ) ;

$l$ ——滤管有效工作部分的长度 ( $\text{m}$ ) ;

$\Delta h_1$ —— $i$  土层中污染地下水水位变化 (降深) 值 ( $\text{m}$ ) ;

$A$ ——污染地下水抽提面积 ( $\text{m}^2$ ) ;

$\mu_i$ —— $i$  土层给水度。

$C_s$ ——土壤介质中的污染物浓度,  $\text{mg}/\text{kg}$ ;

$C_r$ ——土壤达标浓度,  $\text{mg}/\text{kg}$ ;

$C_{lr}$ ——地下水达标浓度,  $\text{mg}/\text{L}$ ;

$C_l$ ——地下水介质中的污染物浓度,  $\text{mg}/\text{L}$ , 数值上与  $C_s * K_d$  相等

$m_s$ ——土壤质量,  $\text{kg}$ ;

$n$ ——有效孔隙率, 无量纲;

$K_d$ ——吸附平衡常数,  $\text{L}/\text{kg}$ ;

$\rho$ ——土壤密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

$R$ ——污染物去除率, %;

$X$ ——原位水力循环次数, 无量纲。

### 3 基本规定

**3.0.1** 本标准适用于饱和带污染地下水修复的单一或强化抽提设计、施工、过程监测及效果检验。不包括地下水抽出后的处理。

**3.0.2** 进行污染地下水抽提设计前，应收集下列资料：

- 1 地块环境调查与风险评估报告及修复治理目标要求。
- 2 地块地形图、地质与水文地质资料。
- 3 地块与周边建（构）筑物、地下管线等设施资料及保护要求。
- 4 地块与周边环境质量信息、敏感目标分布及环境保护要求。
- 5 类似污染地块的地下水修复治理经验。

**3.0.3** 污染地下水抽提设计方案应根据地块工程地质与水文地质条件、污染特征、污染源、污染羽、污染程度、修复目标和环境保护要求等综合确定，并应符合下列要求：

- 1 明确目标污染物修复治理的范围和要求。
- 2 明确地下水抽提方法所涉及的各项技术参数。
- 3 评估工程实施对环境的影响，提出二次污染防控和安全防护要求。
- 4 提出过程监测、施工质量检测与修复效果检验的技术要求。

**3.0.4** 当采用原位水力循环强化抽提时，注入井注入的药剂宜选用无毒无害或低毒低害、安全可靠，方便采购、运输、储存和使用的试剂，制定修复设计方案前应进行实验室小试。

**3.0.5** 污染地下水抽提施工前，应进行现场中试试验，检验并优化设计与施工参数。

**3.0.6** 污染地下水抽提施工前，应具备以下条件：

- 1 结合项目的需求和特点，制定针对性的施工方案，内容包括现场平面布置、施工技术方案、人员、材料和设备配置、施工保障措施及应急预案。
- 2 平整地块，清除施工范围内的障碍物，落实给水、排水、供电和临建等施工配套条件。
- 3 进场材料及设备应满足设计和使用功能要求，进场前经测试和检验合格。
- 4 应对现场施工人员进行技术、安全交底。

**3.0.7** 污染地下水抽提应严格按设计和施工方案进行施工，并符合下列要求：

- 1 现场应安排专人负责质量安全控制，并做好施工记录。
- 2 当施工现场使用药剂时，应对药剂的存放、使用等采取严格的安全防护措施。
- 3 遇异常情况时，应及时分析原因并根据需要及时调整技术方案和施工工艺。

4 施工完成后，应对临时隔离、井管等遗留物进行清理或无害化处理，并对地块内遗留的坑或孔等采用无毒无害的土工材料进行填充。

**3.0.8** 污染地下水抽提应按设计要求进行施工质量检测，并应进行修复过程监测和效果检验。

**3.0.9** 污染地下水抽提过程中，应对周边敏感目标或保护对象实施监测，监测内容宜包括大气、噪声、土或地下水等要素的环境质量，周边建（构）筑物和地下设施的变形等；且应对地下水位、水质及周边环境等进行动态监测，并根据监测数据指导施工及运行。当修复治理区域临近有地表水体时，尚应对地表水进行环境质量监测。监测数据应及时记录并反馈。

**3.0.10** 工程施工过程中应采取安全防护和二次污染防控措施，确保工程安全、人体安全和环境安全，并应符合下列要求：

- 1 选用本质安全型的修复材料。
- 2 现场人员应根据污染情况配备相应的个体防护装备，进入现场前应对个体防护装备的安全可靠性及配备和佩戴情况进行检查。
- 3 采取环境保护措施。



## 4 勘察

**4.0.1** 污染地下水抽提设计、施工前，应结合地块调查及风险评估成果进行专项工程地质与水文地质勘察。

**4.0.2** 污染地块勘察前，应收集气象水文、地块及邻近已有工程地质与水文地质、地块环境调查及风险评估报告等资料。

**4.0.3** 应在分析利用已有资料的基础上，根据污染地下水抽提技术要求，确定勘察工作量。勘探点的布置应根据污染源、污染羽分布，地块及周边条件确定并符合《建设场地污染土勘察规范》DG/TJ 08-2233 相关规定。

**4.0.4** 勘察内容应包括：

- 1 查明污染地块地形地貌、土层分布与特性，提供土层物理力学性质参数。
- 2 查明地块含水层分布、地下水流向、地下水补给、地下水径流和排泄条件、水位变化，地下水与地表水相互作用关系，提供渗透系数、给水度、含水层厚度等参数。
- 3 查明地块内明、暗浜等不良地质条件。
- 4 评价污染地块土层的变形特征、污染水与地下水对建筑材料的腐蚀性。
- 5 根据地块污染特征，提出地下水抽提技术的方案建议。

**4.0.5** 水文地质参数可通过抽水试验或注水试验获取，测试应符合《建设场地污染土勘察规范》DG/TJ 08-2233 相关规定。

**4.0.6** 勘察成果文件应包括文字、图表和必要的附件。勘察成果文件的文字、术语、符号、计量单位均应符合国家相关标准的规定。

**4.0.7** 文字报告应根据地块工程地质与水文地质条件、污染地块地下水分布特征，经综合分析评价后编写，并应包括如下内容：

- 1 勘察任务要求、勘察目的与依据的技术标准、勘察方法和完成的工作量。
- 2 地块地形地貌、周边环境、土层分布与特征、不良地质条件、土层物理力学性质。
- 3 地下水埋藏情况、类型、流向、水位、水位变化及与地表水的水力联系，提供相关含水层的水文地质参数。
- 4 分析评价土层的工程特性指标、地下水抽提对周边环境的影响、污染水与地下水对建筑材料的腐蚀性等。
- 5 结论和建议。根据地块工程地质与水文地质条件，对污染地下水抽提技术的适宜性

作出评价，并提出污染地下水抽提相关监测、检测等的建议。

**4.0.8** 勘察成果报告应附下列图表：

- 1 勘探点平面布置图。
- 2 地层特性表。
- 3 土的物理力学参数表。
- 4 污染土和地下水平面分布图。
- 5 工程地质剖面图及污染深度分布图。
- 6 钻孔柱状图。
- 7 室内土工试验成果图表。
- 8 现场测试成果图表。
- 9 其他专项工作成果资料等。

## 5 设计

### 5.1 一般规定

5.1.1 污染地下水抽提的设计内容应包括抽提井类型、抽提井结构、材料、抽提井布设、抽提设备选型、试验及运行维护要求等。

5.1.2 当采用原位水力循环技术强化抽提效果时，设计内容尚应包括：

- 1 原位水力循环井的结构、材料、井布设、设备选型。
- 2 注入药剂的类型、用量、浓度。
- 3 水力循环的轮次、注入压力、注入流量。
- 4 设备设施维护要求等。

5.1.3 当污染地下水修复范围以外存在污染源或临近有需要保护的敏感目标时，应设置隔离屏障，并提出相关要求。

5.1.4 污染地下水抽提应避免对周边建构筑物 and 地下管线等设施的影响，宜在抽提范围外设置隔离屏障。

5.1.5 正式施工前，应通过现场中试试验调试系统运行状态、评价修复效果，并优化工艺参数。

### 5.2 抽提井设计

5.2.1 抽提井类型应根据地块地质与水文地质条件、修复深度要求、土层渗透系数、污染物种类等因素选择，常用抽提井类型及适用条件见表 5.2-1。

表 5.2-1 常用地下水抽提井类型及适用条件

| 抽提井类型 \ 适用条件 | 渗透系数<br>(cm/s)                                 | 修复深度<br>(m) | 适用地层                       |
|--------------|--|-------------|----------------------------|
| 轻型井点         | $1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-4}$       | $\leq 6$    | 粉性土、砂土、粉质黏土和淤泥质粉质黏土        |
| 管井<br>(真空管井) | $> 1 \times 10^{-5}$<br>$(< 1 \times 10^{-5})$ | 不限          | 粉性土、砂土、粉质黏土、富含薄层粉砂的黏土、粉质黏土 |

5.2.2 抽提井的深度应不小于修复方案确定的修复深度，并宜综合考虑地下水类型及埋深等因素。管井深度尚应考虑沉淀管长度。

5.2.3 轻型井点抽提的设计应符合下列要求：

- 1 井点管的外径宜为 38mm~55mm。
- 2 成孔孔径应不小于 300mm。
- 3 滤管管径应与井点管一致，滤管长度应大于 1.0m；滤管段宜采用多孔式或切缝式，孔隙率应大于 15%；管壁外应设置滤网，且宜设置双层。

#### 5.2.4 管井抽提的设计应符合下列要求：

- 1 井管内径不宜小于 140mm，成孔孔径应大于井管外径 100mm。
- 2 滤管段宜采用多孔式或切缝式，孔隙率应大于 15%，管壁外设双层滤网，长度应覆盖拟抽提深度范围。
- 3 沉淀管长度不宜小于 0.5m。
- 4 在渗透系数较低的土层中应采用真空管井抽提。

#### 5.2.5 抽提井材料应符合下列要求：

- 1 抽提井井管及管路材料应根据污染物种类确定，材质宜为聚乙烯（PE）、硬聚氯乙烯（UPVC）或不锈钢；若地块污染物具有腐蚀性，材料应有抗腐蚀能力或预先进行防腐处理。
- 2 抽提井滤料应选用磨圆度好、粒径均匀且不均匀系数  $C_u < 3$  的石英砂。其粒径应按下式确定：

$$D_{50} = (8 \sim 12) d_{50}$$

式中  $D_{50}$ ——滤料的平均粒径（mm）；

$d_{50}$ ——含水层土的平均粒径（mm）。

5.2.6 抽提井的管壁滤料应回填密实，滤料上方应采用黏土封堵密实或其他有效密封措施。当采用黏土封堵时，厚度应不少于 0.6m。抽提井管周边 0.5m 范围尚应采用素土夯实密封。

#### 5.2.7 当采用原位水力循环强化抽提效果时，水力循环井设计应符合下列要求：

- 1 原位水力循环井兼具抽提、注入功能，并可按需切换抽注功能。
- 2 井管安装深度至地下水污染深度以下 1m，其中筛管深度一般为地下水位以上 0.5m 至污染深度以下 0.5m，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。

5.2.8 原位水力循环井头应密封，并预留采样及现场监测孔。井头侧壁设置真空抽提与药剂注入的独立双管路、阀门与流量计，并通过支管接入总管路，可实现抽提-注入系统的独立启闭、计量、管路运行与实时切换。

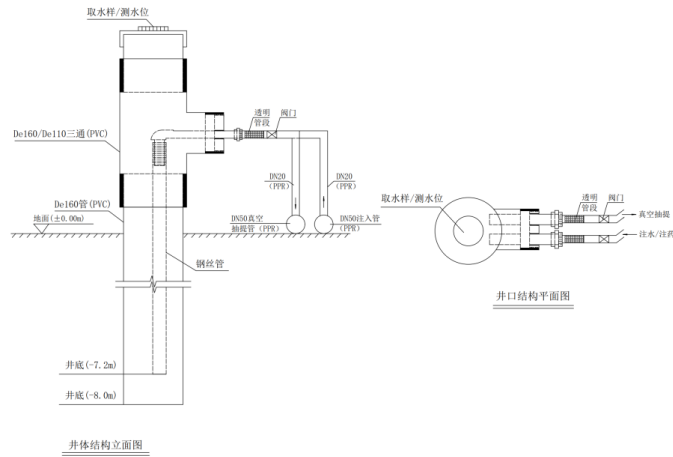


图 5.2.8-1 原位水力循环井头结构示意图

5.2.9 当抽提工期较长超过 1 年时，应进行长效防堵塞抽提井的设计，并满足以下要求：

- 1 长效防堵塞抽提井井身结构井身结构应根据抽水目的层的岩性、厚度、埋深、富水性、水力性质、上覆地层的特征及钻进工艺进行设计。
- 2 长效防堵塞抽提井过滤器结构应根据管井设计出水量、过滤管长度、选用管材的规格、过滤器的有效孔隙率和允许过滤管进水流速等因素确定。过滤器筛孔形式一般为圆孔状和切缝状。对于存在 NAPL 污染物的地下水修复场地，筛孔形式可设置成斜切缝状，有利于液体通过。
- 3 长效防堵塞抽提井可根据需要配置清理井等附属结构，缓解抽提过程堵塞。

### 5.3 抽提工艺设计

5.3.1 污染地下水开放式抽提，抽提群井按大井简化的均质含水层完整井的抽提量按下式进行计算：

$$Q = \pi k \frac{(2H_0 - s_0)s_0}{\ln(1 + \frac{R}{r_0})} \quad (5.3-1)$$

- 式中  $Q$ ——污染地下水抽提量（ $m^3/d$ ）；  
 $k$ ——渗透系数（ $m/d$ ）；  
 $H_0$ ——潜水含水层厚度（ $m$ ）；  
 $s_0$ ——简化的大井水位降深（ $m$ ）；  
 $R$ ——污染地下水抽提影响半径；

$r_0$ ——抽提井井群所围面积等效圆的半径 (m)；可按  $r_0 = \sqrt{A/\pi}$  计算，此处，  
A 为抽提井群连线围合的面积 (m<sup>2</sup>)。

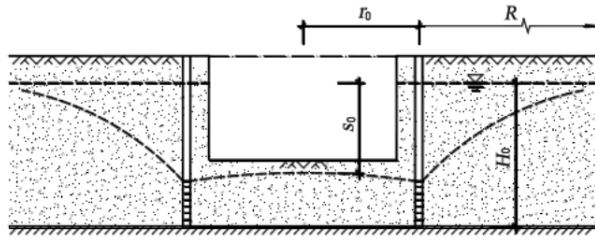


图 5.3.1-1 污染地下水开放式完整井抽提示意图

5.3.2 污染地下水开放式抽提，抽提群井按大井简化的均质含水层非完整井的抽提量按下式进行计算：

$$Q = \pi k \frac{(H_0^2 - h_m^2)}{\ln(1 + \frac{R}{r_0}) + \frac{h_m - l}{l} \ln(1 + 0.2 \frac{h_m}{r_0})} \quad (5.3-2)$$

$$h_m = \frac{H_0 + h}{2}$$

式中  $h_m$ ——污染地下水抽提动水位至含水层底面的深度 (m)；  
 $l$ ——滤管有效工作部分的长度 (m)。

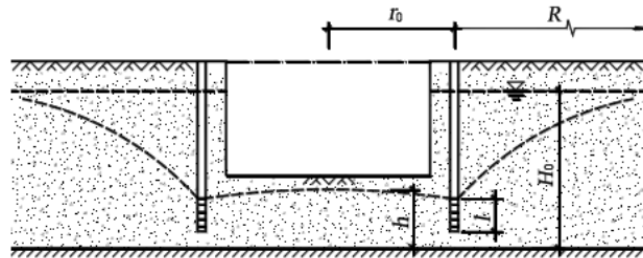


图 5.3.2-1 污染地下水开放式非完整井抽提示意图

5.3.3 当污染地下水抽提周围设置封闭式的隔离屏障时，污染地下水抽提量按下式计算：

$$Q = A \sum_{i=1}^n \Delta h_i \cdot \mu_i \quad (5.3-3)$$

式中  $\Delta h_i$  ——i 土层中污染地下水水位变化 (降深) 值 (m)；

A——隔离屏障封闭面积 (m<sup>2</sup>)；

$\mu_i$  ——i 土层给水度；

i——污染地下水降深范围内的土层数。

5.3.4 宜根据污染地块的污染羽范围、地下水流速和方向、含水层的厚度、各向异性，及抽提井布设的数量和位置，计算抽提捕获区。

1 单井捕获区计算应符合下列规定：

- 1) 含水层为等厚、均质、各向同性，单井抽出达稳定状态；
- 2) 潜水层计算公式：

①按下式计算捕获区最大宽度  $y_{\max}$ ：

$$y_{\max} = \pm \frac{QL}{K(h_1^2 - h_2^2)} \quad (5.3-4)$$

式中  $Q$ ——污染地下水抽提量， $m^3/d$ ；

$k$ ——渗透系数， $m/d$ 。

$h_1, h_2$ ——同一流线方向上两口观测井处的水位至含水层底面的深度， $m$ ；

$L$ ——两口观测井之间的距离， $m$ 。

②按下式计算驻点的 $(x_0)$ 坐标

$$x_0 = \frac{-QL}{\pi K(h_1^2 - h_2^2)} \quad (5.3-5)$$

③将一组小于  $y_{\max}$  的  $y$  值代入下式，计算相应  $x$  值。

$$x = \frac{-y}{\tan(\pi K(h_1^2 - h_2^2) y / QL)} \quad (5.3-6)$$

④用以上所得 $(x, y)$ 值绘制捕获区。

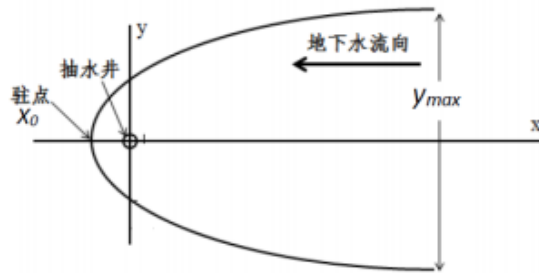


图 5.3.4-1 单井抽水的地下水捕获区

2 多井捕获区计算应符合下列规定：

- 1) 单井捕获区难以覆盖或捕获整个污染羽时，应布置两口或多口井；
- 2) 直线型排列的多井捕获区计算公式：

$$y + \frac{Q}{2\pi Mv} (\tan^{-1} \frac{y - y_1}{x} + \tan^{-1} \frac{y - y_2}{x} + \dots + \tan^{-1} \frac{y - y_n}{x}) = \pm \frac{nQ}{2Mv} \quad (5.3-7)$$

其中，抽水井沿  $y$  轴排列， $y_n$  为第  $n$  口抽水井的坐标， $m$ 。

3) 不规则分布井群的捕获区宜采用数值模拟软件模拟分析。

**5.3.5** 抽提井的布设应使捕获区完全覆盖地下水污染羽，并应符合下列要求：

1 应根据地块的污染范围、污染程度、进度要求及周边环境等因素合理布置。

2 轻型井点管间距宜为 1.0m~2.0m，单套井点系统总管长度不宜超过 50m；管井间距宜为 5.0m~10.0m。

3 抽提区域四角位置的抽提井宜加密。

4 若涉及支护工程、土方开挖、隔离屏障等，抽提井布设应考虑其相互位置及施工顺序，协同设计。

**5.3.6** 抽提设备应根据抽提井类型选用，轻型井点抽提可选用射流式或液环式真空泵，管井、真空管井抽提可选用潜水泵和液环式真空泵，其规格应满足抽提实施的要求。

**5.3.7** 抽提井的设计单井出水量、影响半径及间距等参数应通过现场中试试验确定，现场试验应符合下列要求：

1 现场试验的井数量不宜小于 3 个，包括至少 1 口抽提井和 2 口观测井，试验井呈直线分布，观测井位于抽提井同一侧，观测井之间的距离应大于离抽提井较近的观测井与抽提井之间的距离。

2 若抽水试验井的出水量小，不能形成稳定水位时，可采用水位恢复法或注水试验确定土的渗透系数。

3 现场试验井的设计和施工应符合本章的相关规定。

**5.3.8** 抽提井运行涉及到真空抽提时，低渗透性土层中抽提井管内真空度宜不小于 65kPa。

## 5.4 原位水力循环工艺设计

**5.4.1** 当仅采用抽提不能满足要求时，可采用原位水力循环工艺强化抽提效果，原位水力循环技术不适用于修复含高密度非水相液体类污染物的含水层或放射性地下水。原位水力循环井群布设应满足抽提和注入有效覆盖范围大于目标修复范围。

**5.4.2** 水力循环次数可结合室内小试成果估算，并结合中试进行验证。污染物去除率与循环次数可按以下规定计算：

1 单次循环的污染物去除率按下式计算：

$$R = (C_s - C_s \times m_s \times n \times K_d / \rho) / C_s = 1 - m_s \times n \times K_d / \rho \quad (5.4-1)$$

式中： $C_s$  为土壤介质中的污染物浓度，mg/kg； $m_s$  为土壤质量，kg； $n$  为有效孔隙率，无量纲； $K_d$  为吸附平衡常数，L/kg，可由吸附-解吸试验获取； $\rho$  为密度，kg/m<sup>3</sup>。



2 单次循环污染物去除率与循环次数、土壤达标浓度的相关关系:

$$C_r/C_s \geq R^X \quad (5.4-2)$$

式中:  $C_r$ 为土壤达标浓度, mg/kg;  $R$ 为去除率, %;  $X$ 为循环次数, 无量纲。

3 单次循环污染物去除率与循环次数、地下水达标浓度的相关关系:

$$C_{lr}/C_l \geq R^X \quad (5.4-3)$$

式中:  $C_{lr}$ 为地下水达标浓度, mg/L;  $C_l$ 为地下水液相浓度, mg/L, 数值上与  $C_s * K_d$  相等;  $R$ 为去除率, %;  $X$ 为循环次数, 无量纲。

5.4.3 工程需要时, 可结合地层条件、污染分布情况和药剂类型, 采用深浅井疏密结合方式布置。

5.4.4 当采用原位水力循环强化抽提效果时, 宜按不同阶段分别设计工艺参数, 并符合下列要求:

- 1 运行初期井群全面连续抽提, 快速降低地下水水位。抽提真空度不小于 65kPa。
- 2 地下水水位下降至稳定阶段, 开启注入井, 注入压力应小于注入点上覆土层自重和土体抗剪应力之和。
- 3 修复范围内污染土水逐步达标阶段, 宜间歇式抽提或注入, 并据监测结果动态调整水力循环目标区域和切换井群抽注功能。间歇时间宜结合监测结果和修复要求确定。
- 4 水力循环过程中宜控制抽提和注入流量匹配, 在目标修复范围形成稳定的水力梯度。

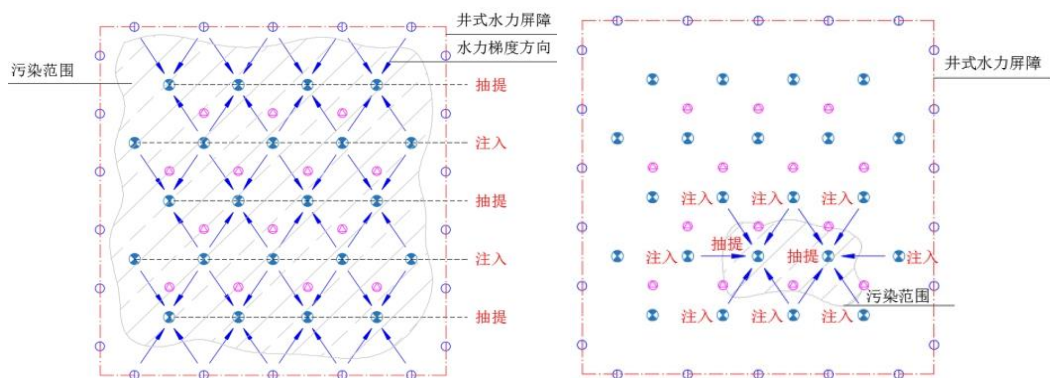


图 5.4.4-1 原位水力循环修复示意图

5.4.5 应根据污染地块土层特性、污染物特征和污染浓度等选择注入药剂。药剂注入量可根据水力循环持续时间、循环次数、修复目标和过程监测结果, 结合实验室小试及现场中试结果综合确定。注入流量可在如下范围内选取:

- 1 地表下 5m 深度以内:  $0.25\text{m}^3/\text{h} \sim 1.5\text{m}^3/\text{h}$ 。
- 2 地表下 5m~10m 深度:  $1\text{m}^3/\text{h} \sim 4\text{m}^3/\text{h}$ 。

**3** 地表下大于 10m 深度：可根据需要在上述基础上进一步增加。

## 6 施工

### 6.1 一般规定

- 6.1.1** 污染地下水抽提的施工应依据设计要求选用相应的施工工艺和设备。
- 6.1.2** 用于污染地下水抽提的材料应符合设计要求,且应在施工前对各项性能指标进行质量检验。
- 6.1.3** 当污染地下水抽提采用隔离措施时,应避免实施过程中引起污染扩散和对周边环境产生不利影响。
- 6.1.4** 地下水抽提施工前,应进行现场中试试验,确定施工参数,中试试验应兼顾抽水试验、注水试验以及水力循环试验。
- 6.1.5** 当采用原位水力循环时,注入的药剂种类应根据场地污染特征、地质与水文地质条件以及施工工艺综合确定。
- 6.1.6** 施工过程中,应在前一道工序验收合格验收合格后,方能进行下一工序的施工。

### 6.2 抽提系统施工

- 6.2.1** 成孔施工应根据抽提井的类型选择成孔工艺及设备,并应符合下列要求:
- 1 宜优先采用套管旋挖成孔工艺。
  - 2 若地层易塌孔、缩孔,轻型井点成孔施工可采用水冲法或钻孔法,管井成孔施工可采用长螺旋钻孔法,必要时可加套管钻进。
  - 3 采用冲洗介质护壁成孔时,应将冲洗介质专门收集及合理处置。
  - 4 成孔深度不应小于抽提井的设计深度。
- 6.2.2** 轻型井点采用水冲法成孔时,应符合以下要求:
- 1 冲水管冲孔过程中应保持垂直,垂直度不大于 1%。
  - 2 采用高压水泵冲孔,水压控制在 0.4~0.8MPa。
  - 3 冲孔深度不应小于轻型井点管设计深度。
- 6.2.3** 管井成孔施工前,管井井口应安设护口管至原状土不小于 20cm,井孔开孔段应保持圆整、垂直及稳固。
- 6.2.4** 当采用泥浆护壁成孔时,钻进过程中泥浆比重应保持在 1.10~1.20,当钻进至设计深度时,提升钻杆至距离孔底 0.5m 清孔换浆,清孔后孔内泥浆比重应小于 1.10,孔底沉淤厚

度应小于 30cm。

**6.2.5** 井孔倾斜度应不大于 1/100，成孔完成后应立即下放井管，井管沿孔深居中放置，井管垂直度应小于 1%。

**6.2.6** 应在管井滤水管上下各安装一组扶正器，扶正器的大小及井管外的分布不得影响滤料正常投放。

**6.2.7** 沉淀管段应封底，底部应坐落牢固，防止下沉。

**6.2.8** 滤料投放方法应根据井壁稳定性、冲洗介质类型和井结构等因素确定，轻型井点可由孔口外管直接填入；管井宜用返水填滤料法或抽水填滤料法。

**6.2.9** 滤料应沿井管四周连续均匀填充密实，并应随填随测，滤料顶底面标高与设计标高误差宜小于 100mm，滤料填充量应大于计算量的 95%，当发现填入数量与计算有较大出入时，应及时找出原因并排除。

**6.2.10** 井管外围用黏土封闭止水时，应选用优质黏土做成球状，大小宜为 20~30mm，并应在硬塑或可塑状态下缓慢填入，井管外围地面附近应用黏土填满压实。

**6.2.11** 轻型井点止水完成后立即进行抽水，至出水的泥砂含量小于 0.1%（体积比）。

**6.2.12** 管井围填止水完成后应立即洗井，应从上部开始逐渐加深，宜采用空气压缩机方法洗井，洗井效果应符合下列要求：

- 1 出水的泥砂含量小于 0.1%（体积比）。
- 2 出水量应稳定且接近设计要求，且相隔 30min 连续两次实测出水量相差不大于 10%。
- 3 沉淀管段淤厚度小于 100mm。

**6.2.13** 当采用原位水力循环时，兼具注入功能的井宜在井管外侧注入水泥浆封闭止水，注浆应在成井一周后实施。

**6.2.14** 抽提井管应依次连接支管、总管管路及抽水设备、集排水装置等，各部分应与抽提井的出水能力相匹配。管路中还应安装真空表、流量计及水位计等。

**6.2.15** 当采用原位水力循环时，注入井管应依次连接注入支管、总管管路及注入设备、药剂暂存桶等，各部分应与注入井的注入量相匹配。管路中还应安装流量计、流量控制阀、压力表、泄压阀和止回阀及水位计等。

### 6.3 抽提运行

**6.3.1** 抽提正式运行前应进行检查和调试，并应符合下列要求：

- 1 检查成井记录表，复核抽提井的位置、井的结构、成井材料等是否符合设计要求。

- 2 检查管路设备是否连接正确，是否密封；真空泵能力是否满足设计要求。
- 3 检查供电线路和配电箱的布设是否满足抽提要求，应配备双电源和异常状态警示报警装置，并应配备必要的水泵和有关设备及材料。
- 4 调试中应记录真空度、水位、水量等变化情况，复核抽提井降深能否满足设计要求，各抽提井管与排水总管能否正常运行，集排水装置能否满足排水量要求。

**6.3.2** 抽提试运行稳定运行时间不宜小于 24h，对井内动水位、出水量进行观测，宜在抽提开始后第 5、10、20、30min 各测一次，以后每隔 30min 测一次，并绘制水位降深及出水量历时曲线。

**6.3.3** 在特殊气候条件下，施工应符合下列要求：

- 1 冬季负温环境下，应对管路等采取适当的防冻措施，每日施工结束应清空泵体和管路内的液体，防止设施冻裂。
- 2 当采用原位水力循环时，在夏季炎热条件下注射时，用水温度不宜超过 35℃，应避免注入设施特别是盛装药剂的搅拌桶和暂存桶暴露于阳光下。

## 6.4 原位水力循环运行

**6.4.1** 原位水力循环系统运行前，应做好充分的准备工作，包括机械器具、仪表、管路、药剂和稀释水、电等的检查和系统密封试验。

**6.4.2** 药剂用水宜采用自来水，根据需要也可采用地块抽提的清洁地下水或地表水，严禁采用生活污水或工业废水；当为特殊药剂时，应采用软化水或除氧水配置，药剂应在搅拌桶内按设计比例或浓度配置后再注入。

**6.4.3** 经配置的药剂根据其化学性质稳定情况确定保存时间。如性质不稳定，应在当天使用完毕，如性质稳定，可根据情况适当延长保存时间。

**6.4.4** 药剂搅拌桶和暂存桶应根据设计用量设置，桶内宜设置搅拌器，额定转速不低于 60r/min；配置好的药剂在加压泵送注射前宜经筛网过滤，严禁通过搅拌桶直接注入。

**6.4.5** 水力循环正式运行前应进行检查和调试，并应符合下列要求：

- 1 检查成井记录表，复核兼具注入功能的水力循环井的位置、井的结构、成井材料等是否符合设计要求。
- 2 检查管路设备是否连接正确，是否密封和注入设备能力是否满足设计要求。
- 3 检查供电线路和配电箱的布设是否满足要求，并应配备必要的备用电源、抽提或注入设备及材料。

4 调试中应记录抽提真空度、抽提量、注入压力、注入量、水位等变化情况，复核水力循环井是否满足设计要求，各管路和阀门能否正常运行。

**6.4.6** 水力循环试运行稳定运行时间不宜小于 24h，对各井内动水位、抽提量、注入量、真空度和注入压力进行观测，宜在运行开始后第 5、10、20、30min 各测一次，以后每隔 30min 测一次，并绘制观测井水位、抽提量和注入量历时曲线。

**6.4.7** 运行过程中应采取保障措施并符合下列要求：

1 如水力循环井发生地面冒浆应立即停止注入，分析原因，并采取调整注入压力或注入流量等措施。

2 如水力循环井封闭止水效果欠佳，宜重新密封。

## 7 监测与检测

- 7.0.1** 本章适用于施工单位自行开展的施工质量检测、运行监测及修复后的效果检验。
- 7.0.2** 修复治理工程的施工组织设计方案应对运行监测、施工质量检测与修复效果检验提出要求。
- 7.0.3** 施工质量检测应根据设计和施工组织设计方案结合实施情况针对性确定，检测项目应符合下列要求：
- 1 应对抽提井进行施工质量检测。
  - 2 当采用隔离屏障时，应进行隔离屏障施工质量检测。
- 7.0.4** 成井质量检测内容应符合设计要求，具体包括：
- 1 成井材料。
  - 2 单井的平面位置、成孔直径、深度。
  - 3 成井施工过程与成井直径、深度、垂直度、井内沉淤厚度。
  - 4 洗井。
  - 5 单井的抽提和注入量。
- 7.0.5** 污染地下水修复期间应进行监测，监测内容包括：
- 1 污染地下水抽提量、抽提流量、抽提真空度、抽提时间。
  - 2 目标污染物浓度、药剂消耗量、过程产物浓度、土壤及地下水理化性质等。
  - 3 当采用原位水力循环工艺时，尚应监测药剂注入量、注入流量、注入压力和注入时间。
  - 4 周边影响范围内的建（构）筑物、地下管线与设施的变形。
- 7.0.6** 地下水抽提实施前应先进进行地块污染物浓度、地下水位等初始值测定，以及周边环境监测点的布设和初始数据的采集。
- 7.0.7** 在污染地下水修复过程中，应通过抽提井或监测井进行运行监测，并应符合下列要求：
- 1 从抽提井及监测井中采集水样，监测目标污染物浓度的变化。
  - 2 在抽提井或监测井中进行地下水位监测。
  - 3 监测井深度宜根据地块污染深度设置。
  - 4 当采用原位水力循环工艺时，尚应根据修复要求选择 pH、电导率、ORP、TVOC、COD 等不同水质参数进行监测。
- 7.0.8** 运行期间监测点布置应符合如下规定：

- 1 在污染羽地下水流向上游至少设置 1 个对照井。
- 2 内部监测井不少于 3~4 个，呈三角形或四边形布置，设置网格不宜大于 80×80m，污染物浓度高的区域设置网格不宜大于 40×40m。
- 3 控制井设置在污染羽的上游、下游以及垂直地下水径流方向污染羽两侧的边界位置，布置数量不应少于 4 个。
- 4 当污染地块面积大或污染浓度高时，宜在地块内地下水径流的上游和下游各增加 1~2 个监测点。

**7.0.9** 地下水监测应覆盖修复实施全过程，监测频次应符合下列要求：

- 1 地下水修复工程运行初期，宜采用较高的监测频次，运行稳定期及运行后期可适当降低监测频次。
- 2 运行初期原则上监测频次为每半个月 1 次，运行稳定期原则上监测频次为每个月 1 次，运行后期原则上每季度 1 次。
- 3 当出现修复效果低于预期，局部区修复失效，污染扩散等不利情况时，应适当提高监测频次。
- 4 地下水位与总抽出水量监测不少于 2 次/天。

**7.0.10** 周边影响范围内的地表变形、建（构）筑物、地下管线与设施的变形监测点位布设和频次应符合上海市工程建设规范《基坑工程技术标准》DG/TJ 08-61 和《基坑工程施工监测规程》DG/TJ 08-2001 的要求。

**7.0.11** 污染地下水修复期间，应做好巡检工作，巡检内容应包括抽提管路、设备及运行状况、监测设施、周边环境情况等。每天巡检不应少于 2 次。

**7.0.12** 污染地下水抽提修复效果检验应符合下列要求：

- 1 采样应在系统关停 1 个月后进行，工程需要时可延长间隔时间。
- 2 抽提结束后应进行不少于 4 轮的地下水达标监测，每轮间隔时间不少于 1 个月。
- 3 采样点的布设应满足《污染地块地下水修复和风险技术导则》HJ 25.6 相关要求，工程需要时可增加采样密度。
- 4 应对废水处理系统的出口处污染物浓度进行采样检验；检验频率每月不少于 1 次。
- 5 在产企业或修复完成后暂未再开发利用的地块，可根据工程需要开展修复效果的跟踪监测。

**7.0.13** 施工单位开展的监测、检测与检验除应符合本章要求外，尚应符合相关技术规范和设计的要求，成果报告宜作为竣工验收资料。



## 8 安全防护

**8.0.1** 本章适用于污染地块地下水抽提修复施工现场及周边环境的安全防护。

**8.0.2** 污染地块地下水抽提修复施工应采取安全防护措施，并应符合下列要求：

- 1 施工前，应识别潜在风险，编制安全防护专项方案。
- 2 加强日常管理，确保施工用水、用火、用电及用气安全。
- 3 加强对人员、材料和机械设备的安全防护。
- 4 应采取有效措施进行二次污染防控，确保周边环境安全。

**8.0.3** 污染地块地下水抽提修复施工的安全风险识别应包含以下内容：

- 1 地块污染源相关风险。
- 2 地块内建（构）筑物和地下障碍物相关风险。
- 3 材料（含药剂）相关风险。
- 4 机械设备相关风险。
- 5 用水、用火、用电、用气相关风险。
- 6 现场人员操作与管理相关风险。

**8.0.4** 应针对中毒、机械伤害、触电、火灾和恶劣天气等风险制定应急预案，应急预案应包括应急程序、组织机构、应急设备与物资配备和应急处置措施等。

**8.0.5** 污染地块地下水抽提修复治理施工应加强日常管理，并应符合下列要求：

- 1 施工现场边界应设置连续封闭的围挡，出入门及内侧应悬挂施工现场平面图、工程概况图、管理人员名单及电话牌和安全防护图等。
- 2 施工现场配备个体防护装备和常用急救药品。
- 3 设置安全管理员，并进行安全检查与巡视。
- 4 进行安全交底，特种操作工人持证上岗。
- 5 外来人员未经允许一律不得进入地块内。
- 6 进入现场人员应有两人及以上相互监护。
- 7 现场人员严禁饮用地块内地表水或地下水，禁止在污染地块饮食。
- 8 作业工人应更衣后才能出场。

**8.0.6** 现场作业人员应根据污染物类型、浓度、毒性或致癌性及迁移性等特征采取相应的安全防护措施，并符合下列要求：

1 进入现场应佩戴安全帽、口罩、手套、硬底劳保鞋等。

2 当污染物浓度高、或有高致癌性、或具急性毒性、或具有易挥发等强迁移性时，应佩戴防毒面具、防护眼镜、防护服、防化硬底劳保鞋和防化手套等。

**8.0.7** 对于污染地块地下水抽提修复与治理施工中使用的材料、药剂、机械设备等安全防护，应符合下列要求：

1 采用的主要材料、机械设备应有质量证明文件、技术性能文件和使用说明文件，对于药剂尚应提供化学成分检测报告和化学品安全技术说明书。

2 应根据施工所使用材料的种类和危险特性，在材料暂存场所设置相应的防渗、防雨等措施，并建立严格的领用、使用和回收制度。

3 施工过程中所采用的机械设备应做好安全防护措施，防止漏油、倒塌或腐蚀等问题发生。

**8.0.8** 施工现场用火、用电安全应符合下列要求：

1 应配置消防设施、器材，设置消防安全标志，保证疏散通道、消防通道畅通。

2 施工现场应设置动火作业区，配备相应的消防器材。

3 各类带电设备须有良好的保护接地接零，做到“一机一闸”、“一箱一漏”，传动部位应有防护罩。

4 现场用电应采用TN-S系统（三相五线制），并配备漏电保护装置。

5 采用移动式照明应使用安全电压。

6 发生电气火灾应自动切断电源，用干砂或干粉灭火器灭火。

**8.0.9** 对于地块及周边环境安全应符合下列要求：

1 施工前应进行地下障碍物的探查并验证。

2 施工前应对地块内及周边重要的建（构）筑物进行专项检测。

3 施工过程中应对周边环境采取相应保护措施，必要时委托第三方进行监测。

**8.0.10** 施工过程中二次污染防控应符合下列要求：

1 应采取措施防止成孔、抽提、注入等施工造成的污染物扩散或转移。

2 应采取有效降噪措施或采用低噪声的工艺、技术、措施和机械设备。

3 应收集施工过程产生的废水、泥浆等，并进行妥善处置。

4 用于地下水暂存和处理的地块，地面应作防渗处理，必要时设置围堰。

5 现场设置办公（生活）区的，应采用分隔围挡与施工作业区明显分隔；地块内有挥发性有机物的，现场办公（生活）区宜布置在污染区域的上风向。

**8.0.11** 施工现场的一般废弃物和危险废弃物的暂存或处置应符合下列要求：

1 一般废弃物应分类集中暂存，宜回收或资源化利用。

2 现场危险废弃物应做好防扬散、防流失、防渗漏等措施，委托具有资质的单位处置，并符合相关管理要求。

**8.0.12** 施工过程中，应根据相关规范、规程、导则要求，对地块内和周边环境进行大气中的特征污染物和扬尘、污水、噪声等监测，并关注敏感目标受施工影响的程度。

## 本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按照……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《室外排水设计规范》 GB50014
- 2 《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》 HJ25.2
- 3 《岩土工程勘察规范》 DGJ08-37
- 4 《基坑工程技术标准》 DG/TJ08-61
- 5 《岩土工程勘察文件编制深度规定》 DG/TJ08-72
- 6 《基坑工程施工监测规程》 DG/TJ08-2001
- 7 《建设场地污染土勘察规范》 DG/TJ08-2233
- 8 《建设场地污染土与地下水土工处置技术标准》 DG/TJ 08-2295
- 9 《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》 HJ25.6

上海市勘察设计行业协会团体标准

污染地块地下水抽提技术标准

(征求意见稿)

条文说明

2024年 上海

## 目 次

|     |                 |    |
|-----|-----------------|----|
| 1   | 总则.....         | 1  |
| 3   | 基本规定.....       | 4  |
| 4   | 勘察要点.....       | 7  |
| 5   | 设计.....         | 9  |
| 5.1 | 一般规定.....       | 9  |
| 5.2 | 抽提井设计.....      | 9  |
| 5.3 | 抽提工艺设计.....     | 11 |
| 5.4 | 原位水力循环工艺设计..... | 12 |
| 6   | 施工.....         | 13 |
| 6.1 | 一般规定.....       | 13 |
| 6.2 | 抽提系统施工.....     | 13 |
| 6.3 | 抽提运行.....       | 15 |
| 6.4 | 原位水力循环运行.....   | 15 |
| 7   | 监测与检测.....      | 17 |
| 8   | 安全防护.....       | 19 |

# 1 总则

**1.0.1** 根据 2019 年《中国生态环境状况公报》，我国地下水质量不容乐观，全国 10168 个国家级地下水水质监测点中，I~III类水质监测点占 14.4%，IV类占 66.9%，V类占 18.8%。全国 2830 处浅层地下水水质监测井中，I~III类水质监测点占 23.7%，IV类占 30%，V类占 46.2%。超标指标为锰、总硬度、碘化物、溶解性总固体、铁、氟化物、氨氮、钠、硫酸盐和氯化物。地下水污染不仅限制了地下水的使用范围，而且会危害人体健康、恶化环境以及破坏生态平衡。随着我国产业的升级改造，大量城市退役工业地块面临着转型再开发，这些地块可能存在地下水污染问题，当其转为商业或居住用地时，如事先不做修复治理而直接开发利用，则会对人体健康造成恶劣影响，甚至威胁地下工程的施工与工程耐久性。

随着我国环境保护和生态建设意识的增强，地下水污染造成的环境影响也逐步受到重视。2015 年，我国颁布了《水污染防治行动计划》（2015），对地下水环境防治工作提出系统要求。2019 年 1 月 1 日起《土壤污染防治法》正式实施，使我国土壤和地下水污染治理工作有了法律依据。

上海市工业发展历史悠久、门类齐全、分布广而散，地质条件特殊，工业生产对地下水环境造成的影响较为深远。据统计，上海市区可能受污染的工业地块约有 1 万余个，污染物存在浓度高、空间变异大、复合污染为主、地下水和土壤污染伴生等特点，并且地块一旦污染修复治理难度大。

根据上海市环境保护工作计划，将逐步建立并完善土壤与地下水污染源清单，探索形成适合上海特点的水土污染调查、评估及修复治理技术体系。2016 年 12 月发布了《上海市土壤污染防治行动计划实施方案》，2017 年发布《上海市环境保护局关于加强污染地块环境保护监督管理的通知》（沪环保防[2017]311 号）和《上海市环境保护局关于印发〈污染地块修复方案及修复效果评估技术审核工作规程〉的通知》（沪环保防[2017]351 号），2019 年 12 月发布了《上海市地下水污染防治实施方案》，这些文件对土壤和地下水修复治理工作的开展提出了系统的工作目标和推进措施。

上海自 2010 年开展污染地块地下水修复至今，已开展的污染地块地下水修复治理工程中，所采用的修复治理方法包括原位注入法、多相抽提法、地下水抽出-处理法、隔离法等，其中地下水抽出-处理法最为常用，但需注意以下问题：

**1) 污染地块地下水抽提技术不能简单照搬发达国家技术：**美国、日本和欧洲等发达国家和地区自 20 世纪 70 年代后期开始，经过近 40 年的探索积累了丰富的地下水抽提治理技



术成果和工程经验。因各国的地质与水文地质条件、污染种类存在差异，国外的相关技术标准不能简单地照搬，但其技术方法及相关成果与经验可供借鉴。与发达国家相比，我国在地下水修复技术、工程化应用和设备研发等各方面均存在一定差距。因此，在充分借鉴国外成熟经验的基础上，需综合考虑我国地块污染特征和现有经济发展水平、科技水平等多种因素，对地下水抽提技术进行改进。

**2) 地下水抽提技术标准对工程实施的指导作用亟待加强：**近年来国家对环境保护工作日益重视，各省市陆续采用地下水抽提技术开展了污染地块地下水修复治理相关的科学研究和工程实践。为推动和规范水土污染修复治理工作，环保等政府部门陆续出台了系列法律法规和技术标准。从实践应用情况看，已颁布的相关污染地下水修复治理技术标准对工程实施的指导作用亟待加强。具体包括：

a. 上海地区浅部土层具有含水量高、渗透性低等特性，地下水位浅，导致水土复合污染较为普遍，不同地质与水文地质条件下的污染物分布及迁移转化特征差异显著。鉴于此，迫切需要根据不同地块的地质与水文地质条件、污染特征采取针对性的地下水抽提方案。

b. 环境保护标准《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ25.6-2019）明确了对经调查评估确定地块中关注污染物浓度已达对人体健康和生态受体具有实际或潜在不利影响的地下水污染地块，需进行修复治理并达到地块修复目标，但仅对修复技术作原则性规定，缺乏具体修复技术设计与施工的细化要求。

c. 从发达国家诸多成功案例以及我国开展的工程实践看，污染地块的地下水抽提技术必须融合环境工程与岩土工程等专业，以切实提高修复治理的综合效益。鉴于污染地下水抽提应用岩土工程降排水技术与常规建设工程有差异，需要结合相关研究成果和工程经验作出细化规定。

因此，本标准针对本地区地质与水文地质条件、污染特征，基于已有科研成果和工程经验，融合环境工程和岩土工程相关的技术和方法，对建设用地污染地下水抽提技术的设计、施工、过程监测、修复治理后效果检验提出细化要求，可促进行业技术进步，其他污染地块可参照执行。

**1.0.2** 本标准属于上海市工程建设规范体系，主要适用于建设地块。本标准是上海地区各行业不同类型污染地块采用地下水抽提修复治理经验的总结。本标准不适用于放射性污染地块和致病性生物污染地块的地下水抽提。需要说明以下三方面情况：

1) 条文适用范围未提及勘察，是因为上海市已颁布《建设场地污染土勘察规范》DG/TJ 08-2233。本标准设置第 4 章“勘察要点”，是为了方便设计人员提出污染地块专项勘察的技

术要求。

2) 设计包括地下水抽提方案编制和修复工程的深化设计。

3) 修复过程中的监测和修复效果自检各有侧重：

a. 过程监测是指在污染地块地下水抽提修复过程中所开展的相关监测，也包括修复治理过程中涉及环境保护的监测和二次污染物排放监测，以及对周围建（构）筑物的监测；

b. 修复效果自检是由工程实施单位进行的工作，对经修复的地块内地下水进行环境指标检测，以确定土和地下水经过修复是否达到修复目标和设计要求。

**1.0.3** 本条规定了污染地块地下水抽提修复工程应遵循的基本原则。掌握地块地质与水文地质条件、污染情况是开展修复治理设计与施工的前提，修复治理施工应对周边的环境敏感目标、地块内外建（构）筑物加以保护。污染地下水的修复需要根据既定的修复目标实施，对不同的开发利用要求和不同种类的污染物，修复目标也会有所差异。

**1.0.4** 本标准属于环境岩土工程交叉学科范畴，因此需要与环保、工程建设等多专业领域的技术规范相协调，其中重点协调的相关规范包括：

1) 环保领域的修复治理相关技术规范：《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ25.6、《地下水质量标准》GB14848、《污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则》HJ25.5 等；

2) 环保领域的地块环境监测相关技术规范：《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》HJ25.2 和《地下水环境监测技术规范》HJ 164；

3) 工程建设领域的相关技术规范：上海市工程建设规范《建设场地污染土勘察规范》DG/TJ 08-2233、行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ111、《供水水文地质勘察规范》GB50027、《供水管井技术规范》GB50296 等。

### 3 基本规定

**3.0.1** 本条明确了本标准的适用范围。饱和带即位于地下水位以下，由土颗粒和水分组成的二相系统。位于地下水位以上的称为非饱和带（或称包气带），是土、气、水三者并存的一个复杂系统。非饱和带污染机理复杂、环境作用类型多，地下水抽提技术不适用。

地下水抽提法适用于多种污染物，但不宜单独用于对污染物吸附能力强或存在非水相液体（NAPL）的含水层。

地下水抽提可以去除含水层中的污染物，同时可有效控制地下水污染羽的扩散，使污染羽和污染程度逐渐减小，含水层介质中的污染物通过向水中迁移而得到去除。但随着抽提的进行，抽提效率逐渐下降，其原因是污染物从含水层固相介质向水中迁移的速率越来越小，出现“拖尾”现象，停止抽提后，又会发生“反弹”效应。因此，可通过注入药剂，提高污染物在水中的溶解度，增强污染物的迁移性，从而缩短修复时间，提高修复效果。

地下水抽出后的处理主要是根据污染物种类，在地表建造配套的污水处理系统，将抽出的地下水进行修复处理，本标准不涉及水处理相关内容。

**3.0.2** 本条规定了地下水抽提修复设计前应收集的基础性资料：

**1** 根据生态环境管理要求，地块环境调查报告与风险评估报告需通过专家评审并在所在地生态环境主管部门备案，作为工程实施的有效依据。

**2** 上海市地下水属于长江三角洲平原水文地质亚区，地下水类型包括潜水和承压水。其中潜水具有水位浅、与地表水体水力联系较密切等特点。上海地区浅部地层成分复杂、各向异性显著，不同区域黏性土、粉性土与砂土的地层组合复杂多样。表部存在各类填土（杂填土、素填土、冲填土等）及暗浜。20m 以浅大部分区域分布有第③、④层淤泥质黏性土，局部浅部有较厚的①<sub>3</sub>或②<sub>3</sub>层松散粉性土及砂土层分布，部分区域第③层淤泥质粉质黏土中夹有粉性土或砂土薄层或透镜体，不同地层条件下污染物迁移规律有明显差别。因此，只有充分掌握地块及邻近区域地质与水文地质条件，才能制定针对性的地下水修复治理设计方案。

**3** 地块内及周围临近的建（构）筑物、地下管线等设施可能会因施工产生变形、受损，影响正常使用，甚至危及周边社会安全。近年来，各类施工活动损坏建（构）筑物、自来水管、电力管线、燃气管线等，引起经济损失、人身伤害的报道屡见不鲜，对污染地块修复治理，收集上述基础信息极为必要。

**4** 地块与周边环境质量信息、敏感目标分布及环境保护要求一般可在经环保主管部门备

案的调查与风险评估报告中获取，也可通过进一步现场踏勘、收集资料、人员访谈等途径补充完善。

5 我国污染地块修复治理起步不久，各种方法在上海地区的适用性仍待不断探索，充分借鉴本地已有的成功案例经验，是有效开展地下水修复治理的重要前提，可通过收集已经备案的修复方案或竣工资料了解相关案例或经验。

**3.0.3** 本条是关于污染地块地下水抽提修复治理设计的总体要求：

2 相比其他地下水修复技术，地下水抽提技术涉及的技术参数有一定差异和侧重，修复设计方案应结合地块条件、污染特征，针对性地给出相关参数的设计要求。

3 修复治理可能产生环境影响，需要从工程安全和环境安全的角度提出保护要求。对污染地块进行修复治理时，应对周边环境提出二次污染控制措施要求；应结合邻近建（构）筑物保护要求提出可靠的变形控制措施。

4 对修复过程监测要明确监测内容、监测点位布设方案、监测频率等内容。

**3.0.4** 本条是对药剂使用和开展实验室小试的规定。

1) 为了确保修复后不产生新的污染，所以要求采用无毒无害或低毒低害的药剂；

2) 使用药剂时，药剂的供应、运输、储存和使用需要满足相应的管理要求，对易燃、易爆、易致毒等类型的药剂，管控要求较为严格。为确保工程实施安全，一般要求所用的药剂方便采购、运输、储存和使用；

3) 不同类型的污染物、不同污染物浓度、土的成分和结构等因素均会对药剂的作用效果产生不同程度的影响，因此，根据工程实践经验，本标准采用药剂注入的原位水力循环修复治理工程应开展小试。

**3.0.5** 本条对中试试验提出了要求。中试前进行过小试的，中试应根据现场条件充分考虑应用小试成果，中试成果对确定施工工艺参数具有指导作用。

1) 由于地块地质和水文地质条件、污染情况千差万别，且污染地下水修复治理的要求高，修复治理工艺参数必须具有很强的针对性，因此，本标准对所有的修复治理方法均提出中试要求；

2) 中试试验主要验证设计方案的合理性并作优化，确定具体的施工工艺参数。

**3.0.6** 本条规定了地下水抽提施工前的准备工作要求。

2 上海地区的污染地块表部一般分布填土层，受人类活动影响，旧基础、废弃管线和地下结构物等地下障碍物的分布概率较高。为保障项目顺利实施，通常要在施工前探明并清除障碍物。

3 为了确保污染地块修复治理效果和修复过程安全，进场材料需要具备出厂合格证、使用说明书及其他必要的证明材料，且满足有效期要求。进场设备需要具备设备检验合格证、检修保养证明文件，确保可正常运行。

4 鉴于现场人员暴露于污染物的风险高，施工前对参与人员进行技术和安全交底极为重要，其中应重点包括施工及运输环节的环境保护和人身安全防护等相关要求，特别是对使用、运输化学试剂，运出废弃物、有害废水等人员进行安全教育，对人员及运输工具进行安全防护检查。交底过程中应做好记录。

**3.0.7** 本条明确了地下水抽提施工活动应达到的基本要求。

1 施工过程中，需要安排专人每天记录所采用的工艺参数、完成的工程量、材料用量，并注明关键监控指标和工艺参数变更或调整等情况，遇到异常情况也应当详细记录。记录可采用文字表格、照片和视频等不同方式。

2 应根据药剂的特性，在存放和使用环节采取相应的安全防护措施，对易于产生化学反应的不同药剂尤其要注意分别存放于独立的空间。药剂进出场、出入库等环节均需要做好台帐记录。

3 根据上海地区的经验，需要在施工过程中及时把握动态变化情况、及时做出技术方案的调整和响应。

4 对地块内遗留物的清理或无害化处理，应结合其特点和物理化学性质，采取针对性的处置方法。当对遗留的坑或孔的回填有防渗要求时，一般可采用黏土球、膨润土等土工材料。

**3.0.9** 本条规定了污染地下水抽提施工过程中的监测内容。具体的监测内容应根据工程实际情况确定，如地块不涉及挥发性或半挥发性污染物，可不进行空气质量监测，地块周边环境空旷不涉及建（构）筑物可不进行变形监测。

**3.0.10** 本条规定了施工过程的安全防护措施。有关安全防护和二次污染防治的要求具体见第 8 章。修复治理施工应优先采用低能耗、绿色的施工技术。本质安全型的材料是指不会对本地块产生次生污染，或不因其物质成分与地块内污染物产生化学反应或催化反应，引起次生污染。

## 4 勘察

**4.0.1** 本条主要强调了地下水抽提设计和施工前需查明地块的工程地质与水文地质条件,这是地下水抽提方案制定和现场实施的重要基础资料。有些工程在未查明地块工程地质与水文地质条件或资料不完整的基础上,盲目的进行地下水抽提设计与现场实施,造成工程损失,修复效果也不能达到修复目标。可见,该项工作非常重要,应引起充分重视。

**4.0.2** 为提高污染地块专项工程地质与水文地质勘察的针对性,勘察方案的编制应收集已有相关资料,并对其进行分析,确定现场实施的勘察方案。

**4.0.3** 专项工程地质与水文地质勘察尚应根据污染物的空间分布情况、污染物浓度以及地下水抽提可能影响到的周边条件范围,确定勘察的工作量。本章针对地下水抽提提出了勘察的要点,勘察方案需结合地块条件和《建设场地污染土勘察规范》DG/TJ 08-2233、《供水水文地质勘察规范》GB50027等相关规范并指并实施。

**4.0.4** 本条对专项勘察内容作原则上的规定:

**1-3** 属于常规的勘察要求,对于上海地区而言,污染物主要存在于浅部土层和地下水中,填土、暗浜、浅部土层特别是砂性土和粉性土的分布、工程特性以及水文地质条件应作为勘察的重点,对污染深度范围内的土层应针对性的提出渗透系数、给水度、水力梯度及含水层厚度等水文地质参数。

**4** 污染地下水可能对建筑材料具有腐蚀性,将影响抽提井和注入井井管材料以及滤网的选取,因此需分层取样进行室内试验并对其进行评价。地下水抽提将引起地块内及周边的地下水位下降,引起地表沉降,对于抽提影响范围内的建构筑物、地下管线及地下设施有较大影响,为评估和计算抽提对周边条件带来的影响,应评价抽提影响范围内各土层的变形特征。

**5** 根据专项工程地质与水文地质条件的勘察成果和污染物类型、浓度以及空间分布特征等因素,为地下水抽提方案的确定提出建议。

**4.0.5** 污染地块各层土的渗透系数渗透系数、给水度、水力梯度、含水层厚度等水文地质参数测试应按照《建设场地污染土勘察规范》DG/TJ 08-2233、《土工试验方法标准》GB/T50123等规范和标准相关要求执行。

**4.0.7** 鉴于污染地块勘察项目的污染程度、污染深度、规模大小、周边条件等差别较大,制订统一的适用于每个污染地块地下水抽提勘察报告格式与内容是不切实际的。因此,本条只

规定了报告的基本要求。应根据地块特点和工程地质与水文地质条件编写。

**5** 专项勘察报告应提出明确的结论，如采用地下水抽提技术的适宜性等。同时对地下水抽提方案以及监测、检测提相关建议。

**4.0.8** 本条对勘察成果报告应提供的附图表作出规定。第 1 至第 8 款是每个项目均要提供的图件或图表。第 7 款是开展过现场测试的工程需要提供相关测试成果图表。

## 5 设计

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 本条规定了污染地下水抽提的设计内容。其中，抽提井类型包括轻型井点和管井；抽提井结构设计包括抽提井成孔孔径、井管直径、滤管结构和回填密封；抽提井材料选型包括井管材料、井管周边滤料及封堵材料等；抽提井的布设应通过涌水量和抽提井捕获区的计算综合确定。

**5.1.2** 本条规定了原位水力循环的设计内容。其中，药剂注入井类型一般选用管井；注入井结构设计包括注入井成孔孔径、井管直径、滤管结构和回填密封；注入井材料选型包括井管材料、井管周边滤料及封堵材料等；注入井的布设应结合抽提井的布设进行布置。

**5.1.3** 若地下水抽提修复范围以外存在污染源时，地下水抽提过程中抽提范围与污染源之间将形成水力梯度，污染源范围的污染地下水将在水力梯度作用下向抽提范围迁移，修复效果降低，修复周期增加，还可能有新的污染物迁移至抽提修复范围，因此，需事先根据工程地质与水文地质条件、污染源深度、污染源平面范围在污染源与地下水抽提范围设置有效的竖向隔离屏障，有效阻断污染源污染物的迁移。另外，隔离屏障设置后也将长期阻断污染物的扩散迁移，保证长期修复效果，在竖向隔离屏障设计时，尚应考虑其服役年限。

**5.1.4** 地下水抽提将引起周边一定范围内地下水水位下降，从而引起周边地表沉降，若抽提影响范围内分布有建构物、地下管线或地下设施时，应根据其对变形的要求，评估地下水抽提的影响，当地下水抽提对周边条件的影响不可接受时，应在抽提范围和保护对象之间设置隔离屏障，隔离屏障的服役时间为有效抽提时间。另外，也采用在抽提范围以外设置回灌井的方法，使抽提范围以外的地下水位保持稳定，具体可参照《深基坑工程降水与回灌一体化技术规程》DB31 / T 1026 等规范及标准执行。

### 5.2 抽提井设计

**5.2.1** 本条借鉴了上海市工程建设规范《基坑工程技术标准》DG/TJ08-61 中基坑降水相关内容，结合目前常用的设备和上海地区污染地块修复治理的经验，给出了两种抽提井，并从渗透系数、修复深度、适用地层三个方面明确了适用条件。当采用其他抽提井类型时，应通过现场试验考察其适用性。

当土层为渗透系数小于  $10^{-7}\text{cm/s}$  的黏土、淤泥质黏土时，可以考虑采用电渗井点法，并



应经过现场试验确定适用性。

地下水抽提井带真空会加速挥发性有机物的污染扩散，故不宜直接或单独应用，此类情况下宜采用多相抽提法。

**5.2.2** 考虑到成孔后孔底一般有一定厚度的沉渣，故规定成孔深度应比滤管底深，保障井点管能下放到设计深度。管井底部的沉淀管为滤管下部的无孔管段，其用途是容纳经过滤层进入滤管内的砂粒和从水中析出的沉淀物等，防止滤管被沉淀物堵塞，以保证抽提井正常运行。

**5.2.3** 本条规定了轻型井点的设计要求，包括成孔孔径、井点管直径、滤管结构等设计要求。

2 成孔孔径的要求是为确保井点管管周填充滤料厚度，进而保障抽提效果。

3 根据工程经验，双层滤网目数：内层滤网宜采用 60 目~80 目，外层滤网宜采用 3 目~10 目。

**5.2.4** 本条规定了管井的设计要求，包括成孔孔径、井管外径、沉淀管长度等的设计要求。

1 结合上海市工程实践经验，本款规定了管井井管外径及成孔孔径的最低要求。井管外径还应考虑抽水机的尺寸，一般应大于抽水机最大外径 50mm 以上。

3 考虑到抽提井有一定的运行期，故本款对沉淀管长度规定了最小要求。

4 渗透系数较低的土层是指渗透系数 $<1\times 10^{-5}\text{cm/s}$ 的土层。

**5.2.5** 本条规定了抽提井材料的要求，包括井管及管路材料、滤料等。

1 PE 是乙烯经聚合制得的一种热塑性树脂，UPVC 是聚氯乙烯（PVC）单体加一定的添加剂经聚合反应而制成的无定形热塑性树脂，不锈钢是具有不锈性、耐化学腐蚀的合金钢。三种材料均具有化学稳定性好、抗酸碱性能优良等特点，抽提井相关材料可优先采用。

2 为保证透水效果，滤料应选用洁净的石英砂，要求不含泥土、云母和有机杂质。

**5.2.6** 通过对井管周边采取密封措施，确保后续抽提运行时的真空度。结合工程经验，滤料上方封堵除采用黏土外，还可以通过井管周边覆盖密封膜等措施。

**5.2.7** 本条规定了原位水力循环井设计要求：

3 相比抽提井井管材料选取，原位水力循环井井管因兼做注入井功能，需考虑注入药剂对井管材料的腐蚀性，选取具有抗腐蚀能力的井管材料或经过表面处理能够达到防腐蚀要求的材料。注入井经常会采用加压注入的方式，实管段的设计长度需根据加压注入的设计压力进行调整，上方实管段一般采用粘土压实密封，当注入设计压力较大时可采用在该密封段注入水泥浆增强密封效果，确保加压注入时药剂不冒出地面。

**5.2.9** 本条规定了防堵塞多相抽提井的设计要求。

2 对于存在 NAPL 污染物的地下水修复场地，抽提汇水过程中由于油水界面张力的影

响，液体不易通过，在长时间抽提作用下，筛孔易堵塞。为解决此类抽提井堵塞问题，筛孔形式可设置成斜切缝状，斜切缝结构能有效地破坏污染水的表面张力，有利于液体通过，使得筛孔不易沉积堵塞。

3 对于有清理井等附属结构的长效抽提井，当抽提井由于滤料层堵塞造成抽提效率明显降低时，可使用负压抽提的方式对清理井进行抽提，将滤料层中细颗粒从清理井中吸出，从而达到缓解堵塞的效果。

## 5.3 抽提工艺设计

5.3.1~5.3.2 开放式抽提时，抽提影响区域外围不设置垂直隔水帷幕，便于周边清洁地下水快速补给，从而减少或无需注入清水或药剂。根据地下水修复工程经验，抽提范围一般为近似圆形或矩形，条文计算公式适用于圆形或抽提范围长宽比小于 20 情况下抽提涌水量的计算。

5.3.3 污染范围四周设置了封闭式的隔离屏障厚，地下水抽提量为抽提井影响深度范围内土壤中可抽提的自由水，若采用注入方式增效抽提时，最终抽提量接近上述两者之和。

5.3.4 如果抽提范围内地下水的水位水平，没有流动，单口抽提井的捕获区为沿中心向外延伸的一个中心对称区域。当地下水水位存在一定的水力梯度，抽提井的捕获区就不对称，往上游无限延伸，随着地下水流速的增加，对于给定抽提速率的抽提井，其捕获区宽度将会减小。

5.3.5 本条对抽提井的布设做了规定。

1 抽提井应布置在污染范围内，在污染程度高、污染源与污染羽中轴线上应加密。若修复进度紧，可通过增加抽提井数量加快地块地下水抽提进度。

2 轻型井点或管井间距是根据上海地区的实际工程经验定的，该间距基本能保证拟修复区域均在抽提影响范围内。井间距可根据地块地质条件选取，黏性土层取小值，砂土层取大值。单套井点系统总管长度的限值是结合目前常用真空设备情况提出的。

3 抽提区域四角位置井点宜加密，以确保角部区域也在抽提影响范围内。

4 当地下水抽提与污染土开挖有交叉作业时，支护工程涉及的护坡、围护桩、支撑和立柱等，土方开挖涉及的土方开挖顺序、机械行走路线等，隔离屏障涉及的施工位置、顺序等均会影响抽提井布设，故设计中应考虑其相互位置的关系及施工顺序，协同设计。

5.3.7 设计单井出水量、影响半径及间距是抽提设计的关键参数，需要通过现场中试试验确

定。本条规定了现场试验要求。

**5.3.8** 真空度的高低决定着真空抽提能力，根据工程实践经验，为保障抽提效率，停抽时，低渗透性土层中抽提井管内真空度宜不小于 65kPa；真空泵运行时，应能维持微负压，保障抽提系统运行。

## 5.4 原位水力循环工艺设计

**5.4.1** 抽出处理法与注入法是最早使用的土壤与地下水污染修复技术，在低渗透性土层普遍存在中抽不出、注不进、扩不开，抽住运行过程缺少动态控制和智能化监控措施等重大难题，显著影响修复效率与效果。污染场地原位水力循环修复技术主要采用抽注循环、注药与注水结合、多路联通抽注、过程监测与智能控制的系统设计，可在低扰动的可控条件下实现污染土壤与地下水的原位协同修复。有效解决了现有地下水抽出处理实施效率低、过程反馈不及时、环境影响较大、拖尾现场严重等问题，兼顾修复效果、绿色环保与成本经济、在用地紧张和实施空间受限的城市区域可有效支撑土壤与地下水同步修复。

**5.4.3** 注入井的深度应综合考虑多项因素，为减小注入药剂的扩散迁移可能引起的二次污染，注入井深度不宜超过抽提井深度，具体深度设计应结合地块水文地质条件，污染特征，修复模式及二次污染防治要求等综合考虑，若采用清水注入，可考虑采用长过滤管形式的注入井；若需要注入药剂，可采用短过滤管形式的注入井。

**5.4.4** 药剂类型的选取应针对污染物的溶解度、解吸作用、土层介质的条件等综合确定，起到使土层中的污染物溶解度增大、迁移性增强的效果。当污染物是亲水性有机污染物、可溶性的无机污染物时，可选取水作为药剂；当污染物是低溶解性的疏水性有机污染物时，可选用表面活性剂或助溶剂作为药剂，达到增溶、洗脱和冲洗的目的；酸性溶剂可以冲洗金属、碱性有机污染物，碱性溶剂可以冲洗酚类以及与土壤有机质结合的金属；也可结合原位化学氧化和还原，注入氧化或还原药剂，注入后使接触到药剂的污染物转化为无害物质、提高剩余污染物的溶解性，提高抽提效率；螯合剂可捕获金属离子生成螯合物，再通过抽提完成地下水修复。药剂应不会对土壤和地下水造成污染，并且修复后残留的药剂易于降解。

**5.4.5** 注压力会随着注流量的增加而增加，为了防止药剂注射过程中地下压力过大而产生冒浆问题，需要控制注的流量和压力，一般注射深度越浅，产生冒浆的可能就越大。本条文根据上海地区的实际工程经验，针对不同注入深度规定了对应的注流量。

## 6 施工

### 6.1 一般规定

- 6.1.1** 按照抽提设计要求和工程特点选取成井设备和材料。
- 6.1.2** 用于污染地下水抽提的材料如管材、滤料、抽水泵等的各项性能指标在施工前应进行质量检验，满足设计要求后方可使用。
- 6.1.3** 设置隔离屏障可阻断修复区域内外地下水中污染物的迁移、流动，从而避免引起污染扩散和周边地面沉降等。隔离屏障宜在地下水污染范围外施工，并在施工过程中采取措施降低二次污染风险。
- 6.1.4** 上海地区第四纪以来的松散沉积物分布具有显著的空间差异，使得不同场地土层参数存在一定的差异，且不同场地的地下水污染情况也有差异，导致一个场地的地下水抽提方案在另一个场地不一定适用。通过现场中试试验，可以直观的获取该场地的抽提井出水量、降深、影响半径等，考察设计方案及施工方法、机械设备的适用性、优化施工参数，使得设计方案更加准确、合理。
- 6.1.5** 注入药剂的类型与场地污染特征和修复工艺密切相关，如六价铬污染场地会选择还原修复工艺，注入药剂时选用还原剂；难生物降解的有机污染物通常会选择氧化修复工艺，注入药剂时选用氧化剂；可生物降解的有机污染物可选择生物修复工艺，注入药剂时选用生物激活剂等。此外，场地地质和水文地质条件以及地球化学特性对药剂的选择也至关重要，如在渗透性较好粉性土、砂土含水层中，原位化学氧化修复注入的氧化剂可选择作用持续时间较短的芬顿试剂，而在渗透性较差的黏性土地层中，原位化学氧化修复注入的氧化剂则应选择作用持续时间较长的高锰酸盐或过硫酸盐氧化剂；对于既可以采用氧化药剂修复，又可以采用还原药剂修复的污染物，在还原性的地下环境中优先选用还原类药剂，而在氧化性的地下水环境中则优先选用氧化类药剂。考虑到药剂在注入法施工过程中可能产生二次污染或者造成操作人员的伤害，因此在满足修复效果的前提下应选用无毒无害或者低毒、安全可靠的化学药剂。

### 6.2 抽提系统施工

- 6.2.1** 本条对抽提井成孔施工做了规定。
- 1 常规成孔施工一般采用水冲法或冲洗介质护壁钻孔法，均会产生大量泥浆，造成二次

污染或交叉污染，因此要求优先采用套管旋挖成孔工艺。

2 当成井地层为松散的杂填土或软弱的淤泥质土、浜土等，干取土成孔易引起塌孔、缩孔，无法完成成井施工，故该类地层轻型井点成孔施工可采用水冲法或钻孔法，管井成孔施工可采用钻孔法。

3 将冲洗介质专门收集并作无害处理以控制相关污染的扩散。

**6.2.4** 本条对泥浆护壁沉孔泥浆比重控制和孔底沉淤厚度做了规定，钻进过程中为保证孔壁稳定，泥浆比重应保持在 1.10~1.20，粘性土地层取小值，砂性土地层取大值。成孔至设计深度后应清孔换浆，将泥浆比重调整至 1.10 以下，沉淤厚度 30cm 以下方可下方井管。

**6.2.6** 为保证井管沿井孔中心垂直下放，井管滤水管上下应设置扶正器，扶正器外径应小于成孔直径 2~4cm，便于下放井管。

**6.2.7** 沉淀管底部应封闭，井管为钢管时底部用钢板焊接封闭，井管为 PVC、PE 管等有机材质时用相同材质封盖进行封闭。

**6.2.8** 滤料投放有多种方法。常用的有静水填滤料法、动水填滤料法（返水填滤料法或抽水填滤料法）、多层填滤料法和导管填滤料法等。多数采用返水填滤料法，本条对采用填滤料方法仅做了原则规定，可根据具体条件和施工经验选用。

**6.2.9** 本条中所指“填入数量与计算有较大出入”，一般出现的情况是滤料填入量小于计算量许多，这多是由堵塞造成的，应及时处理，否则堵塞位置附近必然填料不足或没有，影响抽提和注入效果甚至导致死井情况。

**6.2.10** 管井封闭止水主要对表层、非目标含水层的水进行封闭，另外为真空管井形成真空提供条件，因此材料应具有隔水性能，因此一般采用粘土封闭，应选用含水量小于 10%的干燥状粘土球，锤击可成碎末，否则粘土球在水中不宜崩解，使粘土球之间留有空隙，达不到隔水目的。

**6.2.11~6.2.12** 轻型井点和管井施工完毕后井孔内剩余一定量的泥浆，若不及时抽水或洗井，可能造成轻型井点或管井淤堵，影响后期出水量，因此，本条提出轻型井点止水完成后应立即抽水、管井围填止水完成后立即洗井。对于管井，宜使用空气压缩机进行洗井，将风管混合器下入至过滤管中部，并专人控制供气阀门。洗井时，将气压整至设备额定最高值时，突然开放供气阀门，使压缩空气以最大的速度和压力在过滤管部位进行有效的震荡洗井。每隔一定时间整压一次，至洗好为止。在进行排渣洗井时，空压机出水管下至过滤管的下部，出水管的外径与井管内径差一般应大于 30mm，供气管沉没比不小于 50%，以最大的降深和最大的水量抽水洗井。

**6.2.13** 注入井在注入压力下药剂容易在围填止水中形成通道，破坏注入井，因此在注入井完成围填止水施工后宜采用注浆方式对围填止水进行固化，提高其密实度和抗剪强度。黏土球或黏土围填止水施工完成后，黏土球崩解需要一定的时间，注浆应在成井施工完成一周后实施，方使水泥浆通过黏土球孔隙深入下部滤料中堵塞注入井。

**6.2.14** 总管管路直径应满足所连接抽提井汲水量的排放，管径一般为 89mm~127mm。抽水设备应能满足各抽提井运行达到应有的抽提效率，集排水装置应能容纳抽提运行中的出水量。管路中通过安装真空表、流量计、水位计，可以实现抽提运行的实时监测，掌握运行情况。

**6.2.15** 注入系统各部件及设备应相互匹配，注入管路的直径、药剂搅拌桶体积、暂存桶体积应满足注入设备的最大注入流量，应对不匹配的部件进行更换。为了控制和监控注入流量，注入管路中应安装流量计和流量控制阀。注入过程中应控制注入压力，通过管路中安装的泄压阀进行设置，当即刻注入压力大于设定的注入压力时，通过泄压阀进行泄压。通过压力表读数随时掌握注入压力，止回阀可组织注入的药剂回流。

### 6.3 抽提运行

**6.3.1** 抽提运行强对抽提效果以及电力系统（包括备用电源）、各管路、真空泵、水泵、集排水装置、量测装置等进行一次全面检验，并可以确定相互间的匹配程度。如降深或出水量不能满足设计要求时，可采取调整真空度、优化真空泵和管路设置等措施。

**6.3.2** 条文中规定了抽提运行的稳定时间，为的是在较短的时间内达到水位和出水量的稳定。条文中规定了抽水试验水位和出水量的稳定延续时间及其观测要求。提交的出水量和水位降深数据均应在稳定的观测资料中确定。条文中规定的出水量不宜小于设计出水量的标准，实际上是对抽提井设计和施工的最终检验。

**6.3.3** 污水排放应满足现行的上海市《污水综合排放标准》DB31/199 的要求。

**6.3.4** 本条对特殊气候条件下的施工作了规定。

1 冬季负温环境下做好管路、设备的保温、维护工作，避免抽提系统或原位水力循环注入系统因冰冻被损害而失效。

2 在气温过高的恶劣天气条件下进行注入施工时需做好相应的防护措施，以防止药剂和注入系统失效或引起燃爆事故等。

### 6.4 原位水力循环运行

**6.4.1** 原位水力循环开始前进行系统密封试验可以防止药剂注入时系统泄漏而造成的安全事故或二次污染事故，一般采用清水开展系统密封试验。

**6.4.2** 对于一些特殊的药剂应采用经特殊处理的水配置，如表面活性剂应采用软化水配置，零价铁等强还原性的药剂应采用除氧水配置。在地块自来水供应受限的情况下可考虑提取地下水或者清洁的地表水进行药剂配置。

**6.4.3** 现场配置好的药剂宜当天完成注入，防止药剂由于性质不稳定等原因改变其化学特性，一方面影响注入效果，另一方面引起二次污染。

**6.4.4** 药剂的配置应在搅拌桶内完成，转移至药剂存放桶，药剂由暂存桶注入，严禁仅配置搅拌桶采用边搅拌边注入。为了实际注射施工的方便，当采用单个药剂搅拌桶时，桶的有效容积宜不小于一个注射点的注射体积，以便于一个注射点的注入施工在仅配备一个药剂搅拌桶的情况下也能一次完成。药剂搅拌桶内配备有搅拌器，为了安全起见搅拌桶上面宜设盖或者防护网，并设 10cm 以上的超高以防止搅拌过程中药剂溢出桶外。

**6.4.5** 为了防止经配置的浆体于搅拌桶内发生沉淀，在注射过程中应保持对浆体的缓慢搅拌。为了防止配置好的药剂中存在未分散开来的固体药剂或杂质损坏注射泵，配置好的药剂在泵送注射前宜经筛网过滤。

**6.4.5** 原位水力循环运行前应对注入井、注入管路、电力系统（包括备用电源）、注入泵、量测装置等进行一次全面检验，并可以确定相互间的匹配程度。如注入量不能满足设计要求时，可采取调整注入压力、注入设备和注入管路等措施。

**6.4.6** 本条规定了原位水力循环运行的稳定时间，为的是在较短的时间内达到注入量的稳定。条文中规定了注入量的稳定延续时间及其观测要求。提交注入量和观测井水位数据。注入量不宜小于设计注入量的标准，实际上是对注入井设计和施工的最终检验。

**6.4.7** 本条提出了注入施工过程中可能出现的异常和解决的办法，注入施工过程中应派专人现场检查，实时掌握注入情况，若发生条文中出现的异常情况，应停止注入并分析原因，及时采取措施，问题解决后再进行现场注入施工。

## 7 监测与检测

**7.0.1** 本章则规定了施工方在第三方效果评估前自行开展的运行监测、施工质量检测和污染地下水修复效果检验的要求。本章的效果检验不能替代第三方效果评估。

**7.0.2** 修复治理工程的施工组织设计除了针对污染地下水修复后要达到的目标值提出要求外,尚应针对修复施工过程中的运行监测、采取的修复治理技术的施工质量及修复施工完成后的效果检验提出明确要求。当工程规模大、情况复杂或检测指标特殊时,一般需要制定专项监测、检测或检验方案。

**7.0.3** 抽提井、注入井和隔离屏障的施工质量是决定修复效果的基本保障,因此需根据本标准设计、施工要求、相关技术规范、质量验收标准等进行质量检测。

**7.0.4** 抽提井和注入井质量检测包括施工质量检测和抽提注入量验收。本条规定了抽提井和注入井质量检测的内容。

**7.0.5** 本条规定了污染地下水抽提和药剂注入修复期间的监测内容,包括抽提和注入系统施工过程中的参数入抽提量、注入量等;抽提和注入修复过程中土壤和地下水的理化性质如 PH、温度、电导率、总硬度、氧化还原电位、溶解氧等,目标污染物的浓度变化监测结果可反映出修复效果;还应对抽提和注入对周边建构筑物、地下管线与设置进行监测,及时了解和掌握修复施工对其造成的影响。

**7.0.6** 对地块污染物浓度、地下水位等初始值进行测定,一方面复核前期地块调查结果,另一方面作为抽提效果评判的基础数据。

**7.0.8** 本条规定了地下水抽提和注入运行中的监测点位布置要求,监测点布置除符合本条规定外,另可根据工程实际实施状况和监测数据变化趋势调整。

**7.0.9** 本条规定了地下水抽提运行中的监测频次要求,监测频次除符合本条规定外,另可根据工程实际实施状况和监测数据变化趋势调整。

**7.0.10** 上海市工程建设规范《基坑工程技术标准》DG/TJ08-61 和《基坑工程施工监测规程》DG/TJ08-2001 规定了监测相关要求,包括监测点布设、监测频率等,是上海地区经验总结,应参照执行。

**7.0.11** 巡检应由有经验的人员负责,主要以目测为主,辅以简单工具,观察抽提各相关情况并做好记录。巡检可弥补仪器监测的不足,帮助分析判断监测数据,及时发现异常及预警,避免或减少工程事故发生。一般要求每天至少早、晚各巡检 1 次,必要时应增加巡检次数。

**7.0.12** 本条规定了修复效果检验的内容:



**1~2** 地下水中污染物极易出现浓度反弹情况，因此，应在抽提系统关停 1 个月后进行修复效果检验，并应进行不少于 4 轮的地下水监测。对于渗透性低的土层条件，污染迁移扩散速率较小，可进一步增加间隔时间。

**3** 为了充分了解抽提后的地下水修复情况，在《污染地块地下水修复和风险技术导则》HJ 25.6 的基础上宜进一步增加采样密度。

**4** 对废水处理系统的出口处污染物浓度宜采用直接取样方式进行实验室分析测试。

**7.0.13** 施工单位根据修复施工组织设计开展施工运行监测、质量检测和效果检验，除了符合本章的要求之外，还应符合上海市工程建设规范《基坑工程技术标准》DG/TJ08-61、《基坑工程施工监测规程》DG/TJ08-2001、《地基基础设计规范》DGJ08-11和《地基处理技术规范》DG/TJ08-40等的要求。修复效果检验还应符合《污染地块地下水修复和风险技术导则》（试行）HJ 25.6的规定。

## 8 安全防护

**8.0.1** 污染地块地下水抽提施工的安全防护包含工程安全、人体安全和环境安全。本章的环境安全主要指地块内及周边范围的二次污染防控。

**8.0.2** 污染地块地下水抽提施工需高度重视安全防护,尤其应关注与污染物有关的安全问题。

1 潜在风险包含环境风险和工程风险,其中环境风险包括污染物、药剂及二次污染等;工程风险包括周边建筑物和管线变形开裂等。地块环境调查或污染地块勘察阶段虽已对潜在风险进行了识别,但污染地块地下水抽提修复治理施工前还应进一步识别施工过程中的潜在风险。安全防护专项方案应包含针对不同风险特点制定安全防护措施和应急处置预案。

2~3 日常管理需要在建立管理制度、配备安全管理专员、投入安全防护专项资金的基础上落实,日常管理工作的具体内容见条文11.0.5条。对人员、材料和机械设备等,应根据地块污染情况、修复技术和施工工艺等采取安全防护措施,具体内容见条文11.0.6条和11.0.7条。

4 二次污染包括异味、扬尘、噪音、污染物扩散等,可采取的防控措施包括:建设负压大棚,机动车、机械设备等应在工地内冲洗干净后才能出场,冲洗废水应收集处置,施工过程中发现或产生的废弃物需妥善处置等。

**8.0.3** 本条对污染地块地下水抽提施工的安全风险识别内容作了规定。

1 上海地区较为常见的污染地块有重金属污染、半挥发性有机物污染、挥发性有机物污染或混合污染。以含挥发性有机物污染的地块为例,如采用异位修复模式,则需考虑污染气体逸散的危害。

2 地下管线、电缆、建筑物基础和储罐等地下障碍物的分布可以通过收集资料、物探测试等查明,否则影响施工安全。对于需要保护的地下管线,应按相关要求做好协调、交底、保护和监测等工作。

3 施工所用的药剂部分为危险化学品,其运输、存储(低温保存等)、使用等均有较大的安全风险,负责药剂作业的工人也存在较大的人身安全风险。

4 成井施工机械设备则存在倒塌和被药剂或污染物腐蚀等的风险。

**8.0.4** 鉴于中毒、机械伤害、触电、火灾及恶劣天气等引起的风险事故具有突发性、危害大等特点,工程实施前必须制定针对性的应急预案。

**8.0.5** 本条虽属于管理性要求,但考虑到污染地块修复与治理施工的特殊性,且目前无专门的管理类标准,故本规范提出了基本要求,具体应根据地块污染程度、施工工艺等进行差异

化布置。

1 为确保施工不对周边环境造成影响、避免无关人员进入地块，应采取围挡封闭措施。考虑到污染地块地下水抽提修复治理工程安全防护问题较为复杂，故要求出入口内侧应规范设置工程概况牌、施工现场平面图、管理人员名单及监督电话牌、消防保卫（防火责任）牌、安全生产牌和文明施工牌等。

3 现场安全管理员应对进入现场人员的个体防护装备的安全可靠性及佩戴情况、二次污染防治防控、周边环境保护等进行安全检查；

4 施工前需要对各工种人员进行安全交底，交底内容重点包括环境保护和人身安全防护等相关要求。电工、电焊工、气焊工、危险品仓库保管员等特殊性工种作业人员应按照有关规定经过含有消防内容的专项安全培训，并应获得相应的资格证书持证上岗。

6 污染地块地下水抽提修复治理施工涉及有毒污染物、具有毒性或腐蚀性的药剂等风险，进入现场需两人及以上是为了防止意外事故发生时能够及时发现和处置。

8 作业工人容易接触污染土、地下水或药剂等，离开地块前应更衣，条件具备时还应进行沐浴。

**8.0.6** 不同目标污染物、污染浓度具有不同的风险，本条对其安全防护措施作了差别化的规定。根据国家标准《个体防护装备选用规范》GB/T11651，各种防护装备的防护性能如下：

安全帽：防御物体对头部造成冲击、刺穿、挤压等伤害。

防毒面具：使佩戴者呼吸器官与周围大气隔离，由肺部控制或借助机械力通过导气管引入清洁空气供人体呼吸。

口罩：指防尘口罩，防止吸入一般性粉尘，防御颗粒物（如毒烟、毒雾）等危害呼吸系统或眼面部。

防护眼镜：指防腐蚀液护目镜，用于防御酸、碱等有腐蚀性化学液体飞溅对人眼产生的伤害。

防护服：指化学用品防护服，用于防止危险性化学品的飞溅和与人体接触对人体造成的危害。

工装服：指一般防护服，以织物为面料，采用缝制工艺制作的，起一般性防护作用。

防化鞋：用于保护脚或腿防止化学飞溅所带来的伤害。

硬底劳保鞋：指防砸鞋，保护足趾免受冲击或挤压伤害。

防化手套：指防化学品手套，具有防毒性能，防御有毒物质伤害手部。

手套：保护手部免受磨损、切割、刺穿等机械伤害。

**8.0.7** 本条提出污染地块地下水抽提施工中使用的材料（含药剂药剂）、机械设备等的安全防护。

1 人的不安全行为和物的不安全状态是导致事故的直接原因，合格的材料、机械设备是保证污染地块修复与治理施工安全的前提。应提供“化学成分检测报告”和“化学品安全说明书（MSDS）”。

2 本款规定修复施工所用材料和药剂应根据修复工程实际情况采取安全防护措施；根据药剂的种类和特性，在暂存场所宜设置相应的通风、防晒、调温、防火、防爆、防潮、防雷、防静电、防腐、防泄漏、防雨以及隔离等安全设施；大部分药剂还有一定的毒性或腐蚀性，如带出修复施工现场，将对人民群众的安全造成影响，故应派专人负责，并建立严格的领用、使用、回收制度。

3 由于污染土或地下水、药剂等可能存在腐蚀性，施工中使用的机械设备，需做好相关的安全防护措施。机械设备在使用过程中，也应注意防止设备漏油等二次污染问题以及设备使用或移动过程中倒塌等安全事故的发生。

**8.0.8** 本条主要是为防止火灾、触电等事故的发生所必须要达到的要求，可参考行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46和国家标准《建筑工程施工现场供用电安全规范》GB 50194等相关规范。

1 应在施工现场设置符合消防要求的措施，并保持完好的备用状态。在容易发生火灾的区域施工或存储、使用易燃易爆器材时，应当采取特殊的消防安全措施。应设置消防安全标志，保障疏散通道、安全出口、消防通道畅通，保证防火、防烟，分区、防火间距符合消防技术标准。

3 保护零线必须采用绝缘线，每台用电设备必须有各自专用的开关箱，严禁同一个开关箱直接控制2台及2台以上用电设备（含插座）。

4 施工现场临时用电必须采用三级配电系统、TN-S接零保护系统及二级漏电保护系统。

**8.0.9** 本条规定了地块及周边环境的安全的要求。

1 施工前应对地下障碍物进行探查与验证，并到相关管线运行管理单位办理有关手续，召开管线保护安全交底会，管线管理单位应详实介绍管线的路由走向、管线材质及埋深等信息，并明确现场管线监护工作人员，确定双方联系制度。

2 污染地块地下水抽提修复治理施工如措施不当易引起本地块或邻近范围的建（构）筑物、地下管线等变形或开裂，故应在施工前进行专项检测工作。一般专项检测工作由业委委托符合资质要求的第三方实施。

3 施工方应根据探查和专项检测结果，编制相应保护方案，提供各权属单位确认，并在施工现场布置明显的警示标志，必要时还应委托有资质的第三方单位进行监测。

**8.0.10** 本条规定了污染地块地下水抽提施工过程中可能出现的二次污染问题的处置措施。

1 施工过程中应采取相应措施控制扬尘和防止挥发性有机物逸散。

2 修复施工工艺涉及的钻孔或隔离桩施工等易导致污染物向下迁移，施工过程中应采取相应隔离措施。

4 土体堆放、修复过程中的渗水以及冲洗建筑垃圾、机械设备、车辆等产生的废水等均应汇入污水收集池，经检测如需要处理，还应进入污水处理池处理。施工过程中产生的泥浆及残渣应进行检测，如不达标，应进行修复；如达标则可按常规泥浆及残渣处置方法处理。

5 用于修复的地块地面应铺设HDPE膜等防渗材料，使用完成后应在原地面下采样监测，以评价防渗效果，如不达标则应进行修复治理。

6 为确保人员安全，施工现场的施工区域按上海市文明施工相关管理要求应与办公、生活区域分隔。地块内有挥发性有机物的，根据修复治理方法、现场条件确定是否适宜设置现场办公（生活）区，如需要时则应布置在污染区域的上风向，设置专用出入口，定期检测室内空气，并设置防护装备更换场所，以确保人体健康安全。

**8.0.11** 施工现场应设置危险废物收集点，发现或产生的危险废物如需外运的，应委托市相关管理部门认可的单位统一处置。危险废物名录按照国家、上海市最新政策要求执行。

**8.0.12** 修复施工中目标污染物及二次产物、施工三废排放等对地块临近敏感目标产生涉及环境的不利影响时，应及时采取减污降噪等安全防护措施并跟踪监控影响变化。