

团 体 标 准

T/GIA 005—2020

受污染地下水抽出-处理修复技术指南

Technical guideline of pump and treat remediation technology for contaminated
groundwater

2020-11-18 发布

2021-01-01 实施

中关村中环地下水污染防控与修复产业联盟 发布

目 录

前 言	II
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	3
5 技术内容和工作程序	3
6 地块条件确认	5
7 抽出技术设计	6
8 地表处理技术设计	9
9 工程设计及施工	10
10 工程运行与监测	12
11 技术效果评估	15
附录 A （资料性附录）有机污染水体常规处理技术.....	18
附录 B （资料性附录）无机污染水体常规处理技术.....	19
附录 C （资料性附录）抽出-处理后可选择的出水排放方式.....	20

前 言

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

本文件由中关村中环地下水污染防治与修复产业联盟提出并归口。

本文件由中国环境科学研究院负责起草，中持水务有限公司和上海康恒环境修复有限公司参加起草。

本文件主要起草人员：姜永海、席北斗、杨昱、徐祥健、魏文侠、翟天恩、王湘徽、夏甫、黄彩红、韩旭、张丽萍、王加华、廉新颖、贾永锋、李彤彤、胡佳晨、李培中、郭鹏。

本文件在实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中关村中环地下水污染防治与修复产业联盟标准委员会，以便修订。

联系邮箱：cngpc_org@126.com

受污染地下水抽出-处理修复技术指南

1 适用范围

本文件给出了受污染地下水抽出-处理技术修复的术语与定义、总体要求、技术内容、工作程序和技术要求等指导建议。

本文件适用于水力控制或应急处置受污染地下水抽出-处理修复技术中抽出系统、地表处理系统、设计及施工、运行与监测、技术效果评估等设计、建设和管理、以及从业者进行实际操作的技术指导等，其他修复技术联用可参照使用。

本文件不适用于高密度非水相液体 (DNAPL) 类污染、放射性污染以及致病性生物污染地下水的抽出-处理技术修复。

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文件必不可少的条款。凡是注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 14848 地下水质量标准

GB/T 51040 地下水监测工程技术规范

HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则

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 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则

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 682 建设用地土壤污染风险管控和修复术语

HJ/T 164 地下水环境监测技术规范

HJ 2050 环境工程设计文件编制指南

HJ 493 水质 样品的保存和管理技术规定

HJ 494 水质 采样技术指导

JGJ111 建筑与市政降水工程技术规范

SL 183 地下水监测规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地下水污染羽 groundwater plume

污染物随地下水移动从污染源向周边移动和扩散时所形成的污染区域。

3.2

地块概念模型 site conceptual model

用文字、图、表等方式来综合描述污染源、污染物迁移途径、人体或生态受体接触污染介质的过程和接触方式等。

3.3

水文地质条件 hydrogeological condition

地下水埋藏、分布、补给、径流和排泄条件，水质和水量及其形成地质条件等的总称。

3.4

水力梯度 hydraulic gradient

沿渗透途径水头损失与相应渗透途径长度的比值。

3.5

渗透系数 hydraulic conductivity

饱和土壤中，在单位水压梯度下，水分通过垂直于水流方向的单位截面的速度。

3.6

浅水层 unconfined aquifer layer; phreatic stratum

地表以下第一个稳定水层，有自由水面，以上没有连续的隔水层，不承压或仅局部承压。

3.7

含水层 aquifer

能够透过并给出相当数量水的岩层。

3.8

捕获区 capture zone

以抽水井为中心延伸到降落漏斗边缘的一个径向区域，捕获区内的水流均向井内流动。

3.9

非水相液体 non-aqueous phase liquid; NAPL

不能与水互相混溶的液态物质，通常是几种不同化学物质（溶剂）的混合物，又称非水溶相液体。

3.10

高密度非水相液体 dense non-aqueous phase liquid; DNAPL

比重大于 1.0 的非水相液体，如：三氯乙烯（TCE）、三氯乙烷（TCA）、四氯乙烯（PCE）等。

3.11

低密度非水相液体 light non-aqueous phase liquid; LNAPL

比重小于 1.0 的非水相液体，如汽油、柴油等烃类油品物质。

3.12

抽出-处理 pump and treatment

通过在地块地下水污染羽的上游建造(必要时)注水井和在下游建造一定数量的抽水井，并在地表建造相应的污水处理系统，利用抽水井将有机(如 NAPL)污染地下水抽出地表和采用地表处理系统将抽出的污水进行深度处理的技术。

3.13

拖尾 tailing

抽出-处理系统运行到一定阶段后，污染物浓度下降速度逐步减缓的现象。

3.14

反弹 rebound

抽出过程中断后所出现污染物浓度快速上升的现象。

4 总体要求

4.1 受污染地下水抽出-处理修复技术需要首先控制或去除受污染地下水污染源。

4.2 受污染地下水抽出-处理修复技术要求含水层介质渗透系数 $K > 5 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ ，可以是粉砂、砂卵砾石等不同介质类型。

4.3 受污染地下水抽出-处理修复技术修复目标设定为对污染羽水力控制和/或含水层水质恢复。

4.4 受污染地下水抽出-处理修复技术关键参数包括但不限于渗透系数、含水层厚度、井间距、井群数量、井群布局和抽出速率等。

4.5 受污染地下水抽出-处理修复技术运行为动态过程，参照地下水污染羽的变化动态及时调整技术各方面参数。

4.6 受污染地下水抽出-处理修复技术修复周期较长，必要时与其他地下水修复技术联合使用。

4.7 受污染地下水抽出区域需要避免地面沉降及周边邻近建筑物影响的区域。

5 技术内容和工作程序

5.1 技术内容

5.1.1 地块条件确认

通过受污染地下水地块调查，建立污染地块地下水概念模型，确定地下水污染羽范围，

布设抽水井群和监测井群，进行抽水试验获取渗透系数、抽水影响半径、水流量、捕获区等相关参数，确定地块条件；根据需要开展受污染地下水地块基础设施建设和地块平整，以及受污染地下水抽出-处理技术可行性评估。

5.1.2 抽出技术设计

根据地块水文地质条件和污染物的分布范围，确定地下水污染羽范围，设置合理的捕获区；进行抽水试验获取渗透系数、抽水影响半径、水流量、捕获区等相关参数；开展地块基础设施建设，设计受污染地下水抽出技术方案，关键技术参数包括渗透系数、含水层厚度、抽水井间距、抽水井数量、井群布设和抽提速率。

5.1.3 地表处理技术设计

明确地表处理系统技术设计原则；依据受污染地下水污染物性质、污染程度范围、修复目标、修复时间、修复成本、修复工程以及水体潜在危害等影响因素，对选择的常规净化技术及出水的排放方式进行可行性评估，科学设计及因地制宜制定地表处理系统，使修复目标可达，出水方式安全可靠。

5.1.4 工程设计及施工

开展受污染地下水抽出-处理修复技术的工程设计及施工。工程设计一般包括初步设计和施工图设计；工程施工包括施工准备、施工过程和环境管理与二次污染防治等。

5.1.5 工程运行及监测

开展受污染地下水抽出-处理修复技术运行中工艺维护、过程监测、污染物去除趋势预测、设备性能监测等。

5.1.6 技术效果评估

开展受污染地下水抽出-处理修复技术运行后期效果评估。明确地下水修复效果评估的范围，制定布点和采样方案，开展效果监测与评估，判断技术是否有效运行，是否达到修复目标停止技术运行。

5.2 工作程序

受污染地下水抽出-处理技术工作程序流程图如图 1：

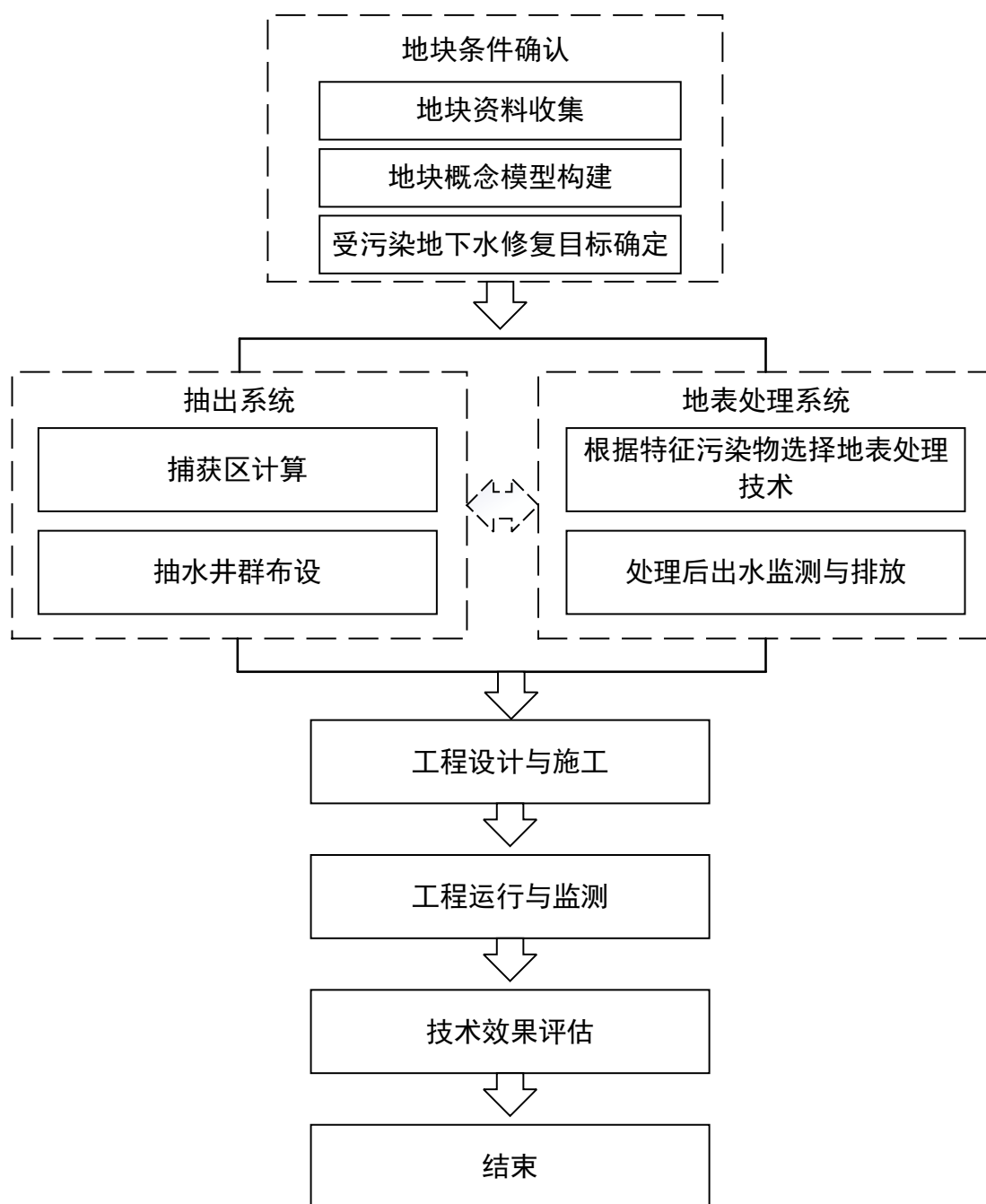


图 1 受污染地下水抽出-处理技术工作程序

6 地块条件确认

6.1 地块资料收集

前期按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 完成的地块地下水环境调查，重点核实污染地块基本情况、水文地质条件、地下水污染特征等内容。考察地块现状，特别核查地块已有水文地质条件和地下水污染情况，必要时应补充开展水文地质勘查和地块环境调查，进行风险评估与模

拟预测，相关技术要求按照 HJ25.1、HJ 25.2 和 HJ 25.3。

6.2 地块概念模型构建

资料收集后，分析地块水文地质条件、污染物的理化参数、空间分布特征及其迁移途径、周边环境敏感点等，构建概念模型，重点关注地下水污染羽的变化情况。概念模型一般包括下列信息：

a 地下水污染特征：污染源、目标污染物浓度、污染羽范围、污染羽迁移趋势、非水相液体的分布情况；

b 水文地质条件：地下水类型、地层分布及岩性、地下水埋藏条件、地下水流场、地下水补给、径流和排泄条件；

c 潜在受体与周边环境情况：结合地块地下水使用功能和规划，分析污染地下水与受体的相对位置关系、受体的关键暴露途径等。

6.3 受污染地下水修复目标确定

按照 HJ 25.3 确定的风险不可接受的污染物，根据地块特征、规划、使用功能和地下水质量要求，确定地下水修复目标污染物；根据地下水污染影响或可能影响的水体，参考 GB/T 14848 和 HJ 25.3 要求，因地制宜科学制定修复目标。相关技术要求参照 HJ 25.6。

7 抽出技术设计

7.1 捕获区计算

捕获区的规模和几何形态直接受抽水井的数量、位置、抽注水量以及井的完整程度等多因素的影响和控制。根据污染羽的空间分布形态和时间变化规律，协调好影响和控制捕获区几何形态的各个设计因素之间的关系。在设计有效的捕获区过程中，首先调查清楚区域水力梯度的大小、方向及其影响因素；其次，必须测定污染含水层的导水系数，确定污染含水层边界条件的水力性质；最后，确定抽注水井的数量、位置、完整程度以及各井的抽水强度等。以下介绍常用较为简便的单井和多井抽出捕获区的计算和设计方法。

7.1.1 单井抽出捕获区计算

假设含水层为等厚、均质、各项同性，单井抽出达稳定状态后，该井的捕获区如图 2 所

示，其计算公式分别如下：

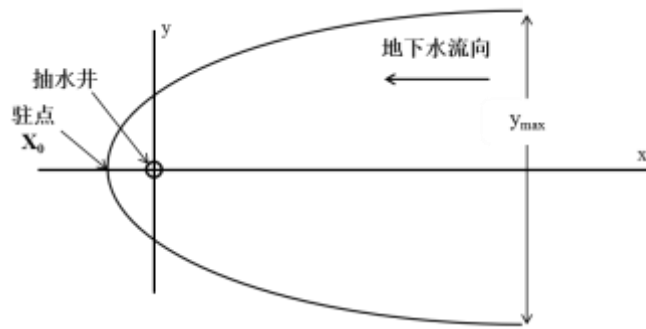


图 2 单井抽水的地下水捕获区

a 承压含水层

第一步：按下式（1）计算捕获区最大宽度 $y_{\max}$ （见图 2）

$$y_{\max} = \pm \frac{Q}{2KBi} \quad (1)$$

式中：

- Q — 抽出量，单位为立方米每天；
- K — 渗透系数，单位为米每天或米每秒；
- B — 含水层厚度，单位为米；
- i — 水力梯度，无量纲。

第二步：按下式（2）计算驻点(x_0)的坐标

$$x_0 = \frac{-Q}{2\pi KBi} \quad (2)$$

式中： $\pi \approx 3.14$ 。

第三步：分别将一组小于 $y_{\max}$ 的 y 值代入下式（3），计算相应 x 值。

$$x = \frac{-y}{\tan(2\pi KBiy/Q)} \quad (3)$$

式中： $\tan$ 为正切函数。

第四步：用以上所得(x , y)值绘制捕获区。

b 潜水层（计算步骤与承压含水层相似）

第一步：按下式（4）计算捕获区最大宽度 $y_{\max}$ （见图 2）

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

式中：

- h_1 — 天然水流条件下 x_1 处的地下水水头，单位为米；
 - h_2 — 天然水流条件下 x_2 处的地下水水头，单位为米；
 - L — h_1 和 h_2 之间的距离。
- 其他参数同前。

第二步：按下式（5）计算驻点的(x_0)坐标

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

第三步：分别将一组小于 $y_{\max}$ 的 y 值代入下式（6），计算相应 x 值。

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

第四步：用以上所得 (x, y) 值绘制捕获区。

7.1.2 直线排列多井抽水捕获区计算

7.1.2.1 受地块含水层的渗透性、厚度和边界条件等限制，考虑单井最大抽出量及其捕获区有限，难以覆盖或捕获整个污染羽，需要布置两口或多口抽出井以形成更大的捕获区。若井间距过小、捕获区重叠而造成修复成本增加，井间距过大、捕获区互不重叠而造成污染物从井间逃逸。

7.1.2.2 为优化设计抽出井的数目和井间距，以下介绍采用以势叠加理论为基础，用图解法来决定井数、井间距和抽水量，相关可参考 Javandel 和 Tsang (1986)。这种方法要求井的类型曲线以及含水层厚度 (B) 和达西流速 (U) (均假定为常数)，具体分为以下四个步骤：

- 用和捕获区类型曲线相同的比例尺画出污染区分布图，并标明区域地下水流向。
- 把单井捕获区类型曲线叠置于实际的污染区分布图上，使捕获区类型曲线上的地下水流向和实际区域地下水流向平行，并沿着污染范围的中线，以便于污染范围在 x 轴两侧基本对称。抽水井位于污染范围的下侧，并尽量调整污染范围在单个 $Q/(BU)$ 曲线内。
- 根据已知的含水层厚度 (B) 和达西流速 (U)，以及从类型曲线上查得 $Q/(BU)$ 值（记作 TCV ），计算单井抽水量 (Q)，即 $Q = BUTCV$ 。
- 若这个流量超过单井出水量，使用两井的类型曲线，并重复步骤 b 和 c，直到计算的流量满足设计要求。对于两眼井，井间距可由下式估算，即 $D = Q/(\pi BU)$ 。若使用三眼井和四眼井的理论曲线，对于三眼井，井间距可由下式估算，即 $D = 1.26Q/(\pi BU)$ ；对于四眼井，井间距可由下式估算，即 $D = 1.2Q/(\pi BU)$ 。

7.1.3 不规则分布群井抽水捕获区计算

考虑含水层非均质性及污染羽不规则形态等因素，需布置不规则分布的抽出群井。建立相应概念模型和数学模型，确定数值模拟方法，选择或编写相应模拟软件，如 *MODFLOW*、*MT3D* 等，通过计算机模拟，对抽水井群进行优化设计。

7.2 抽水井群布设

抽水井群应布设在污染羽横向与纵向上，如抽水井布设在污染羽的中轴线上或在污染羽中心。建议抽水井布设在污染源与污染羽中心之间（靠近污染源，约位于整个污染羽的

三分之一处), 并以该井为圆心, 以不同抽水量下的影响半径为半径布设其余的抽水井。多井抽水应重叠每眼井的捕获区, 以防止污染地下水从井间逃逸。

8 地表处理技术设计

8.1 基本原则

8.1.1 技术有效性原则

选择地表处理系统能够有效降低受污染地下水中目标污染物的浓度和毒性。

8.1.2 经济合理性原则

选择地表处理系统具有经济合理性和建设成本可承受性。

8.1.3 可实施性原则

选择地表处理系统具有许可及施工、运行、维护等技术和各方面的可实施性。

8.2 地表处理技术选择

8.2.1 有机污染物

有机污染物常分为挥发性有机污染物 (VOCs)、半挥发性有机污染物 (SVOCs) 和难挥发性有机污染物。有机污染水体常规地表处理技术如附录 A 所示。

8.2.2 无机污染物

去除地下水中无机污染物 (以重金属为主), 主要是通过化学沉淀、化学稳定化、过滤或离子交换等。无机污染水体常规地表处理技术如附录 A 所示。

8.3 出水排放方式选择

受污染地下水经抽出-处理技术处理后, 常见的出水的排放方式如附录 B 所示。根据出水的排放方式选择合适的出水验收标准。

9 工程设计及施工

9.1 工程设计技术要求

受污染地下水抽出-处理修复技术工程设计，根据工作开展阶段划分为初步设计、施工图设计，根据涉及专业不同划分为工艺和辅助专业设计，具体工程设计参考 HJ 2050。

9.1.1 初步设计

初步设计文件依据技术方案进行编制，应能满足编制施工图、采购主要设备及控制工程建设的需要。初步设计文件一般包括初步设计说明书、初步设计图纸和工程概算书。

9.1.2 施工图设计

施工图设计文件依据初步设计文件编制，应能满足编制工程预算、工程施工招标、设备材料采购、非标准设备制造、编制施工组织计划和工程施工的需要。施工图设计文件一般包括施工图设计说明书、施工图设计图纸、工程预算书。

9.1.3 工艺设计

受污染地下水抽出-处理修复技术工艺设计依据包括地块地下水污染特征、水文地质条件，工艺技术路线、范围及规模、目标等。

9.1.4 辅助专业设计

辅助专业设计包括总图、建筑、结构、给排水、采暖通风、电气、自动化等，可根据具体受污染地下水抽出-处理修复技术工程情况增减，辅助专业设计在工艺设计基础上进行，为工艺设计提供支持。

9.2 施工准备

9.2.1 工程施工准备工作主要包括技术准备、施工现场准备、材料准备、施工机械和施工队伍准备等内容。根据设计施工图纸，综合考虑现场条件、施工企业的情况，编制施工组织设计，并完成相关审核。根据受污染地下水抽出-处理修复技术工艺，应特别关注地块的地下管线情况、周边构筑物情况、抽水及排水许可、用水、用电等问题。

9.2.2 现场施工主要包括技术工艺建设安装、调试等，需严格按照工程设计图纸和相关技术规范文件开展。施工过程中做好工程动态控制工作，通过落实质量安全保证措施、工程建设

安装成本、关注工程施工进度，保证质量、进度、成本、安全目标的全面实现。施工过程中发现设计问题，经建设、监理单位同意，由设计单位进行设计变更。受污染地下水抽出-处理修复技术工程施工过程中应监测地下水水位和水质，分析地下水流场和地下水污染羽扩散情况等。

9.2.3 井群设计

抽出井和监测井的工程施工一般包括以下三项关键步骤：

9.2.3.1 建井

建井主要包括钻进、护壁与冲洗、岩土样采取、井管安装、填砾及封闭，需综合考虑地层岩性、井身结构、钻进工艺等，及时调整现场施工过程。建井施工过程特别注意严格封闭处理污染地下水目标含水层，防止地下水含水层之间出现越层污染。

9.2.3.2 洗井

建井结束后，须及时洗井。洗井方法应根据含水层特性、井管结构和钻探工艺等因素确定。采用活塞、空气压缩机或水泵等单一或联合方式进行。同时注意对洗井过程中产生污水的安全回收和处理。一般洗井后需进行抽水试验，进一步确定井管实际抽出水量。

9.2.3.3 设备安装

包括抽水管、流量计、泵、电线、开关等设备安装。结合抽出-处理系统设计要求进行设备型号选择和附属设施安装。

9.2.4 井管结构

9.2.4.1 口径

抽出井口径较大，一般在 110 mm 以上。监测井口径通常为 50 mm。注入井口径一般介于监测井与抽出井口径之间，可参考 HJ/T 164 和 GB/T 51040。

9.2.4.2 井管材质

井管管材主要有 PVC 管、钢管、铸铁管、钢筋混凝土管等。井管管材选择主要考虑地下水污染物特征、管材强度和经济成本等因素。

9.2.4.3 筛管

抽水井筛管的长度和位置，应根据设计抽水量、含水层岩性特征、地下水水位和变化幅度确定。监测井筛管的长度和位置，应根据监测的目标含水层位置确定，对于 NAPLs 类污染物，监测井筛管的长度应扩展到整个目标含水层，可参考 HJ/T 164。

9.2.4.4 止水材料

成井时应在套管和钻孔壁之间填充密封材料，常见材料有膨润土泥浆、水泥泥浆或膨润土与水泥的混合物等。

10 工程运行与监测

10.1 工程运行技术要求

10.1.1 为确保受污染地下水抽出-处理修复技术工程的有效运行，应对工程运行进行管理，对设备设施进行维护保养。技术设备应选用性能稳定、能效高、维修简单且维护成本低的设备。现场人员应掌握技术工艺流程和设备运行要求，按规程进行操作，定期做好运行记录分析运行状态，随时掌握各工艺系统运行变化情况，保证抽出-处理系统的正常运行。

10.1.2 受污染地下水抽出-处理修复技术工程应建立设备台账，并编制相关运行及维护方案。内容包括：系统运行管理手册、设备操作手册、设备维护保养手册、安全运行管理制度、设备检修计划等。维护内容主要包括抽出设备和地表处理设备。

10.2 工程运行维护内容

10.2.1 抽出设备

10.2.1.1 井群

井群设置专门的固定点标志和空口保护帽。建立井群基本情况表，定期监测出水量与水位降深的变化情况，实时掌握井群的运行及维护状况。一旦出现塌陷、损坏、堵塞或腐蚀，造成出水速率降低，及时进行维修或重建。抽出井静水位下降或其他井的干扰导致出水量下降，采用降低水泵吸水口、清洗水井以及安装套管修整器或衬管等方法处置。

10.2.1.2 水泵

水泵运行严格按照设备使用说明进行操作，合理制定工作计划，防止出现过载过热的情况。建立水泵运行维护情况表，定期检查水泵运行情况。若水泵运转产生振动或噪声异常、输出水量水压下降或电能消耗显著上升，应立即停机检修。定期检查抽水井的水位变化，防止抽干。定期检查与水泵相关的电缆线有无破裂或折断，保证运行安全。严禁频繁开启/关闭水泵。

10.2.1.3 管道

设置输水管道标记，明确管道的位置与走向。制定管道维护日程表，做好运行维护记录。

定期检修管道运行情况。管道出现泄漏或断裂等故障，及时进行维修或更换。管道堵塞，及时进行清淤。

10.2.2 地表处理设备

地表处理设备组成需根据实际情况而定。地表处理设备的运行及维护等操作，根据设备生产厂家提供的使用手册和维护保养手册进行作业。设备的维护保养包括设备检查维修、设备清洁、润滑及保养、易损件的更换，设备计划检修和计量设备的精度检测等。

10.3 过程监测

10.3.1 根据地块水文地质条件和地下水污染特征布设对照井、污染羽内部的监测井和控制井。对照井设置在污染羽地下水流上游，指示区域地下水质量；内部监测井设置于污染羽内部，反映修复过程污染羽浓度变化情况。内部监测井可结合环境调查结果，间隔一定距离，按三角形或四边形布设；监测井数量需满足污染羽特征刻画、工程运行状况分析的要求。对照井至少设置 1 眼，控制井至少设置 5 眼，内部监测井至少设置 2 眼；当含水层厚度大于 6 m 时，应分层设置监测井；控制井设置于地下水污染羽边界的位置，一般布设在污染羽的上游、下游以及垂直于径流方向污染羽两侧的边界位置。若污染地下水可能影响临近含水层，需针对该含水层设置监测井，以评估修复工程对该含水层的影响；若周边存在敏感点，需在地下水污染羽边缘和敏感点之间设置监测井。可参考 HJ 25.2、HJ/T 164 和 HJ 25.6。

10.3.2 工程运行期间需对地下水水位、水质、次生污染物等进行监测。水质监测包括污染物浓度监测、非水相液体的分布情况监测等。工程运行期间的地下水监测应包括工程运行的完整周期。监测频次应根据工程运行阶段、效果、监测指标种类合理确定。工程运行初期应采用较高的监测频次，稳定运行期及后期可适当降低监测频次。一般要求工程运行初期每半个月监测 1 次，运行中期每月监测 1 次，运行后期可适当增加监测时间间隔，工程运行监测时间间隔一般不大于 3 个月；当修复效果低于预期、局部区域修复和风险管控失效、污染羽扩散等不利情况时，应适当提高监测频次。

10.3.3 监测内容主要涉及污染羽监测、抽出井性能监测、地表处理系统监测、地下水环境状况监测。

10.3.3.1 污染羽监测

借助流量估算和模型分析，计算捕获区的范围；绘制的水位等势线面图，分析地下水流线；在捕获区边界，监测 2 个或多个地下水水位，分析捕获区地下水流向；监测捕获区下游目标污染物浓度随时间的变化，结合实际监测的地下水水位预测捕获区的变化。

10.3.3.2 抽出井性能监测

分析实际捕获区内抽水井群污染物浓度和抽出速率的变化情况。若污染羽范围逐步缩小，污染浓度持续降低至修复目标，可逐步关停抽出-处理系统，但需开展长期监测工作，一旦出现地下水污染反弹情况，再启动抽出-处理技术；若地下水污染出现拖尾，调整抽出系统的运行方案。

10.3.3.3 地表处理系统监测

10.3.3.3.1 监测地表处理系统设计参数与实际参数，改进地表处理技术的效率及减少运行与管理的成本。定期监测与评估地表处理系统设计参数，如地表处理系统的进水流速、流量，目标污染物的进水浓度，进入地表处理系统污染物总量等。

10.3.3.3.2 定期监测与评估地表处理单元运行参数，如地表处理系统的进出水流量、进出水污染浓度和污染物总量，地表处理系统的有机负荷及水力负荷等。

10.3.3.3.3 定期开展地表处理系统的进水和出水的采样分析，分析地表处理系统的效率、影响处理效率的进水化学性质及预测目标污染物浓度的变化趋势。依据地下水污染现状确定水质检测指标，开展监测频率、采样及分析方法、样品管理及监测数据分析等工作，具体根据项目特点和要求确定，可参考 HJ/T 164，HJ 493 和 HJ 494。

10.3.3.4 地下水环境状况监测

10.3.3.4.1 开展地下水水位监测

技术工艺运行前须测量其静水位，测量单位精确到厘米，技术工艺运行时须监测动水位。监测频率应每天一次，绘制水位等势线面图，实时掌握地下水水位的变化趋势。

10.3.3.4.2 开展地下水水质监测

依据地下水污染现状确定水质检测指标，采样及分析方法、样品管理及监测数据分析，

可参考 HJ/T 164, HJ 493 和 HJ 494。

10.3.3.4.3 开展污染物浓度趋势预测

根据工程运行过程中的地下水监测结果,开展趋势预测,判断受污染地下水抽出-处理修复技术方案的有效性和目标可达性。依据趋势预测结果对技术方案进行调整和优化。获取过程监测数据后及时进行趋势预测,可对全部或部分参数开展趋势预测,如对目标污染物浓度进行趋势预测。在地下水污染较重的区域可适当提高监测井数量和监测频率,预测污染羽的捕获程度和污染物浓度趋势变化,判断是否会产生拖尾和反弹的现象。

11 技术效果评估

11.1 技术要求

11.1.1 初步判断地下水中污染物浓度稳定达标时,且地下水系统达到稳定状态,可开始修复效果评估。

11.1.2 效果评估范围包括受污染范围的上游、内部和下游,以及可能涉及的两侧区域等潜在的二次污染区域。

11.1.3 原则上采用修复工程运行监测数据进行修复达标初判,至少需要连续 4 个批次的季度地下水水质监测数据。

11.1.4 若地下水中污染物均未检出或浓度低于修复目标值,则初步判断达到修复目标;若部分浓度高于修复目标值,可采用均值检验和趋势检验方法分析污染物浓度趋势,当均值的置信上限低于修复目标值且浓度稳定或持续降低时,则初步判断达到修复目标。

11.2 修复效果评估

11.2.1 抽出-处理系统是一个动态的过程,定期优化完善运行,评估修复效果。

11.2.2 地下水修复效果评估标准值首选为修复技术方案中目标污染物的修复目标值。原则上应根据修复技术方案中的可行性分析结果,选择适用标准或者利用风险评估方法进行确定,风险评估按照 HJ 25.3 执行。

11.2.3 原则上每眼监测井中的检测指标均持续稳定达标，方可认为地下水达到修复效果。可采用趋势分析法进行持续稳定达标判断，在 95% 置信水平下，趋势线斜率显著大于 0，说明地下水污染物浓度呈现上升趋势；若趋势线斜率显著小于 0，说明地下水污染物浓度呈现下降趋势；若趋势线斜率与 0 没有显著差异，说明地下水污染物浓度呈现稳态。地下水中污染物浓度呈现稳态或者下降趋势，可判断地下水达到修复效果。

参考文献

赵勇胜 地下水污染地块的控制与修复

Javandel, I. and Tsang, C.F., 1986. Capture zone type curves: a tool for aquifer cleanup. *Ground Water*, 24 (5),616-625.

附录 A
(资料性)
污染水体常规处理技术

有机污染水体和无机污染水体常规处理技术分别见表 A.1 和 A.2。

表 A.1 有机污染水体常规处理技术

技术	适用性	局限性
气提法	适用于去除大部分的 VOCs 和某些 SVOCs；运行管理成本低。	不适于处理某些 SVOCs 和难挥发性有机污染物；须处理产生的尾气。
颗粒活性炭法	适用于去除大部分有机污染物；可以去除某些重金属和其他无机污染物；运行管理成本相对较低。	不适于处理某些有机污染物（通常是低分子量的 VOCs）；需要预处理。
聚合树脂法	适用于处理活性炭不能有效去除的有机污染物；有效去除高浓度的有机污染物；可以再生。	适于去除单一组分的有机污染物，不适于去除多组分；运行管理成本高。
生物法	适用于气提法和活性炭法难以去除的有机污染物；固定膜组分减少了微生物营养物质的损失。	成本高；须处置产生的固体废物。
高级氧化法	适用于原位去除所有类型的有机污染物；没有废气的产生。	成本高；运行管理费用高；需要预处理。

表 A.2 无机污染水体常规处理技术

技术	适用性	局限性
过滤法	运行管理成本低；易于管理。	去除效率相对低；滤袋或滤膜须经常更换和处置。
沉淀法	去除效率高，可有效去除各种无机污染物。	人工成本高；运行管理成本高；须处置产生的固体废物。
离子交换法	人工成本低；去除效率高，可有效去除各种无机污染物。	去除高浓度无机污染物，经济成本高；不适于去除地下水中多种无机污染物。

附录 B

(资料性)

抽出-处理后可选择的出水排放方式

抽出-处理后可选择的出水排放方式见表 B.1。

表 B.1 抽出-处理后可选择的出水排放方式

出水应用	潜在优点	潜在缺点
排放到地表水体	水体的排放不受流量费用的约束；雨水管道可能会收取一定的费用。	排放标准是基于环境水体标准，与饮用水标准对比甚至更严格；与其他排放选择相比，上报更严谨，可能需要环境毒理学测试；可能需要去除地下水中某些天然成分；排放到附近地表水体或雨水管道需要铺设管道；公众可能会有负面看法。
出水回灌到地下	排放标准通常类似于饮用水标准；不需要去除地下水中某些天然组分；可以用来增强水力控制或者冲洗污染源；保护地下水源，尤其是地下水是单一的饮用水源。	回注可能影响污染羽的捕获；回注井和渗透结构需要更多的维护；可能存在地表处理技术难以去除的污染物，回灌到地下会分散污染羽，增加去除成本。
排放到污水处理厂	相对较低的排放标准和监测要求，特别是对有机污染物；抽出-处理技术难以处理的某些污染物，污水处理厂可以处理；污水处理厂可以进一步处理某些组分，避免对地表水体的危害。	对污水处理厂处理能力具有一定的要求；污水处理厂可能不愿接收某种成分的地下水或出水水质较好的地下水；大流量出水排放到污水处理厂，治理成本高。
出水再利用	出水再利用可减少或消除设备或使用其他水源的需要，从而节约水自然资源，并潜在的降低使用成本；成本相对较低；有很好的应用前景。	需要满足相关法规和标准，可能需要更多的测试和监测；回用于工业生产过程中，需要进一步的处理，处理回用水满足设备标准或下游排放标准；出水利用设备是间歇性运行，而抽出-处理系统可能需要持续的运转，如果连续抽出与批处理在安排时间上不可用，回用是不可行的；需要准备一个备用排放点；当前的分析手段无法检测的污染物，如地表处理技术无法去除，会存在潜在的风险。