

ICS 13.020.40
CCS Z 05

DB32

江苏省地方标准

DB32/T 4611—2023

建设用地地下水污染修复和风险管控
技术导则

Technical directives for groundwater pollution remediation and
risk control of development land

2023-12-13 发布

2024-01-13 实施

江苏省市场监督管理局 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本原则	2
5 工作程序	2
6 方案制定	3
7 工程实施	6
8 效果评估	8
9 后期管理	9
附录A(资料性) 地下水污染修复和风险管控技术适用表	10
附录B(资料性) 建设用地地下水污染修复和风险管控技术方案编制提纲	14
附录C(资料性) 建设用地地下水污染修复和风险管控效果评估报告编制提纲	16
参考文献	18

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。

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。

本文件由江苏省生态环境厅提出并归口。

本文件起草单位：生态环境部南京环境科学研究所、江苏省环境科学研究院、中国科学院南京土壤研究所、东南大学。

本文件主要起草人：温冰、龙涛、陈檣、祝欣、曹少华、傅博文、宋静、宋敏、万金忠、邓绍坡、陈朦、黄剑波、张满成、唐伟、于磊、蒋林惠、柏立森、余海波、赵炎、尹芝华、刘翠翠。

建设用地地下水污染修复和风险管控 技术导则

1 范围

本文件确立了建设用地地下水污染修复和风险管控的基本原则和要求,并规定了工作程序、方案制定、工程实施、效果评估、后期管理等内容。

本文件适用于建设用地地下水污染修复和风险管控的方案制定、工程实施、效果评估和后期管理。其他形式的地下水污染修复和风险管控可参照执行。

本文件不适用于放射性污染和致病性生物污染地块的地下水污染修复和风险管控。

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(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 14848—2017 地下水质量标准

GB 36600—2018 土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)

HJ 25.3 建设用地土壤污染风险评估技术导则

HJ 25.6 污染地块地下水修复和风险管控技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

建设用地 development land

建造建筑物、构筑物的土地,包括城乡住宅和公共设施用地、工矿用地、交通水利设施用地、旅游用地、军事设施用地等。

[来源:GB 36600—2018,3.1]

3.2

地下水污染对照值 control value of groundwater contamination

用于评价天然状态下地下水中化学组分水平的浓度值或浓度范围,可选取地下水环境背景值或评价区内受人类活动影响程度较小的地下水水质指标统计值。

[来源:HJ 610—2016,3.13,有修改]

3.3

地下水污染修复 groundwater pollution remediation

采用物理、化学或生物的方法,降解、吸附、转移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,满足相应的地下水环境功能或使用功能的过程。

[来源:HJ 25.6—2019,3.2,有修改]

3.4

地下水污染风险管控 groundwater pollution risk control

采取工程控制、制度控制等措施,阻断地下水污染物暴露途径,阻止地下水污染扩散,防止对周边人体健康和生态受体产生影响的过程。

[来源:HJ 25.6—2019,3.3,有修改]

3.5

后期管理 ex-post management

建设用地上壤和地下水污染风险管控和修复后,土壤和地下水仍然存在污染迁移、扩散或人体健康风险,结合实际情况对地块实施长期监测、制度控制等措施,确认修复效果是否长期有效、风险管控效果是否符合预期。

4 基本原则

4.1 系统性原则

系统考虑地下水、土壤、地表水,兼顾区域和地块,强化协同防治,统筹地下水污染修复和风险管控,防止地下水污染对人体健康和生态受体产生影响。

4.2 针对性原则

根据地块所属行业的污染特征、水文地质条件、周边环境敏感目标等,针对性开展地下水污染修复和风险管控活动,有效消除或控制污染风险。

4.3 规范性原则

依据地下水污染修复和风险管控相关法律法规要求,采用程序化、系统化方式规范修复和风险管控过程。

4.4 可行性原则

根据地块水文地质条件、地下水使用情况、污染特征以及对人体健康和生态受体造成的危害,合理选择修复和风险管控技术,因地制宜制定修复和风险管控技术方案,确保修复和风险管控切实可行。

5 工作程序

建设用地地下水污染修复和风险管控的工作程序如图 1 所示。

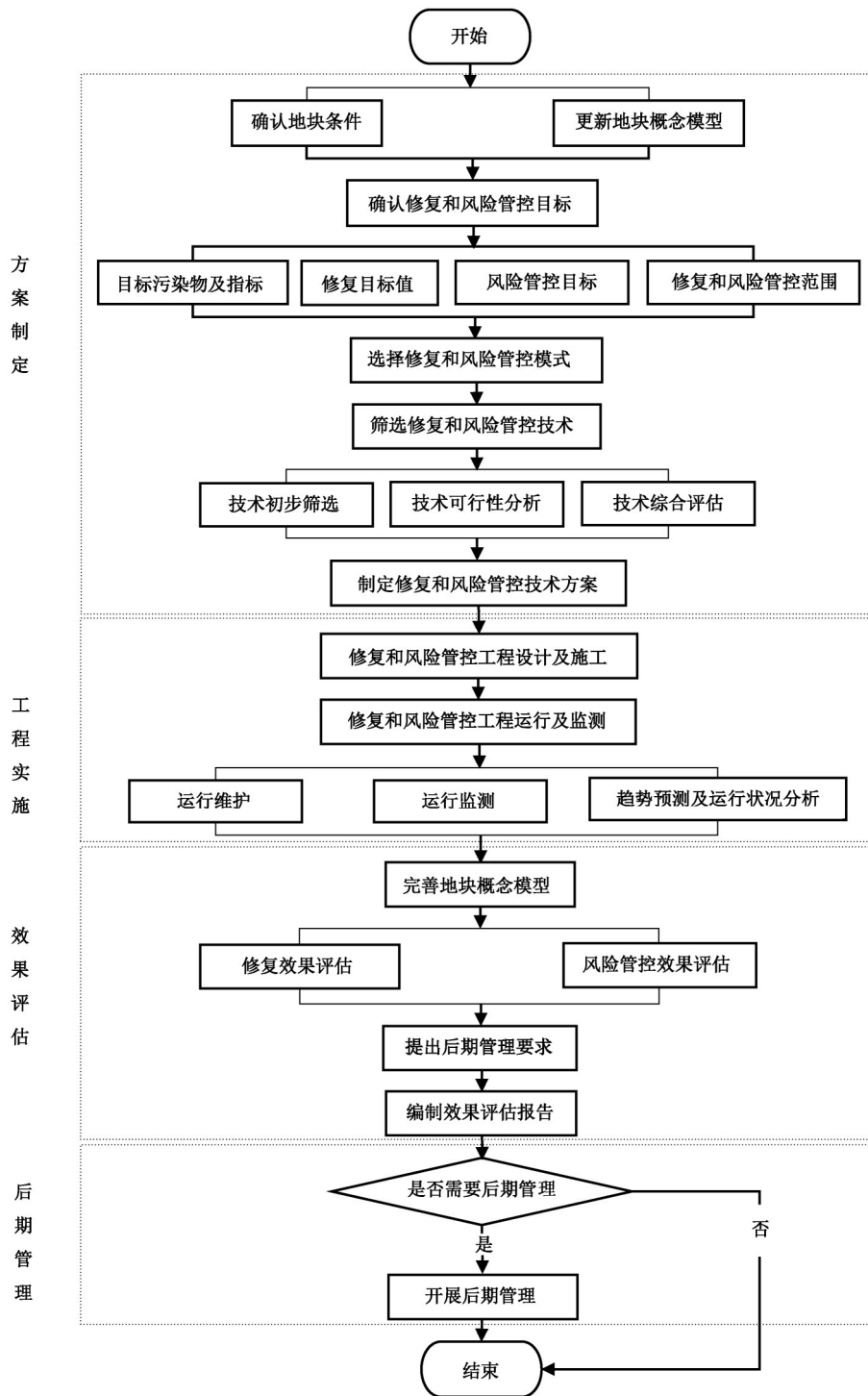


图1 建设用地地下水污染修复和风险管控工作程序

6 方案制定

6.1 确认地块条件

6.1.1 核实地块资料

根据前期地块环境调查、风险评估等相关资料,重点核实地块基本情况、水文地质条件、敏感受体、地

下水和土壤污染特征,以及邻近地表水体、相邻污染地块、上游地下水重点污染源(如工业园区、垃圾填埋场、危废处置场等)等周边环境情况。

6.1.2 现场踏勘

实地考察地块现状及周边环境情况,重点关注地块前期环境调查和风险评估后发生的重大变化。考察地块修复和风险管控施工条件,重点关注地块用电、用水、交通、地下水监测井等情况。

6.1.3 补充技术资料

若发现已有资料不满足地块地下水污染修复和风险管控技术方案制定、工程设计要求,应补充相关技术资料。必要时补充开展工程地质勘察、水文地质勘察、地块环境调查、地下水污染风险评估和模拟预测等工作。相关技术要求按照 HJ 25.6 执行。

6.2 更新地块概念模型

6.2.1 结合 6.1 收集的地块资料,分析地块地质与水文地质条件、地下水污染特征、敏感受体与周边环境情况等,必要时对地块污染状况调查、监测和风险评估阶段构建的地块概念模型进行更新,重点关注地下水污染羽的变化。

6.2.2 地块概念模型应包括下列信息:

- a) 地质与水文地质条件,如地层分布及岩性、地质构造、地下水类型、包气带结构、含水层结构及参数、弱透水层或隔水层参数、地下水流场、地下水补径排条件、地表水与地下水之间的水力联系、地下水动态变化特征等;
- b) 地下水和土壤污染特征,如污染源、目标污染物浓度、污染范围、污染物迁移途径、非水相液体的分布情况等;
- c) 地块、地下水利用现状和规划,如地块土地利用现状和规划、地下水开发利用现状和规划、地下水污染防治重点区划定情况等;
- d) 敏感受体与周边环境情况:结合地块、地下水利用现状和规划,分析污染地下水与敏感受体的相对位置关系、关键暴露途径,以及邻近地表水体、相邻污染地块、上游地下水重点污染源等。

6.2.3 地块概念模型可采用文字、图、表等方式,便于指导地块地下水污染修复和风险管控目标确认、方案制定。

6.3 确认修复和风险管控目标

6.3.1 通则

6.3.1.1 确认前期地块调查和风险评估提出的地下水污染修复和风险管控目标是否明确,包括目标污染物及指标、修复目标值、风险管控目标、修复和风险管控范围等。

6.3.1.2 地下水污染修复和风险管控以保护和改善地下水环境质量为核心,保护人体健康和生态环境,促进地下水资源可持续利用。

6.3.1.3 已编制土壤污染风险评估报告或地下水污染风险评估报告并报地方主管部门备案的,目标污染物及指标、修复目标值和风险管控目标、修复和风险管控范围可按照风险评估报告执行。地块地下水存在强烈异色异味的,风险评估报告应包括异色异味污染物及指标相关要求。

6.3.1.4 从经济成本、技术的成熟度、时间要求等方面进行经济技术评估,分析风险评估报告中提出的修复和风险管控目标可达性。若目标设置不合理或目标不可达,应分析原因,必要时开展补充调查和风险评估,并按程序对目标进行调整。

6.3.2 确认目标污染物及指标

6.3.2.1 根据地块及受体特征、土地利用规划、地下水使用情况和地质因素等,确认前期地块调查和风险评估提出的地下水污染修复和风险管控目标污染物及指标。

6.3.2.2 地块位于集中式地下水型饮用水源(包括已建成的在用、备用、应急水源,在建和规划的水源)保护区、准保护区、补给区的,目标污染物及指标按照 GB/T 14848 要求执行。

6.3.2.3 地块风险评估报告明确的修复和风险管控目标污染物及指标,应作为目标污染物及指标。

6.3.2.4 含量低于地块地下水污染对照值的污染物及指标,可不作为目标污染物及指标。

6.3.3 确认修复目标值

6.3.3.1 分析比较按照 HJ 25.3 计算的风险控制值、地块所在区域地下水中目标污染物及指标的对照含量,以及国家和地方有关标准中规定的限值,结合污染物形态与迁移转化规律等,确认地块地下水修复目标值。

6.3.3.2 地块位于集中式地下水型饮用水源(包括已建成的在用、备用、应急水源,在建和规划的水源)保护区、准保护区、补给区的,修复目标值按照 GB/T 14848—2017 中Ⅲ类限值执行。

6.3.3.3 地块风险评估报告确定的修复目标值,应作为地块修复目标值。

6.3.3.4 当选择相关标准或按照 HJ 25.3 确定的地块修复目标值低于地下水污染对照值时,可选择对照值作为修复目标值。

6.3.3.5 当地下水污染影响或可能影响土壤和地表水体时,根据 GB 36600 和地表水(环境)功能要求,基于污染模拟预测、风险评估结果,同时结合 6.3.3.3 情形从严确定地下水修复目标值。

6.3.4 确认风险管控目标

6.3.4.1 地块位于集中式地下水型饮用水源(包括已建成的在用、备用、应急水源,在建和规划的水源)保护区、准保护区、补给区的,开展修复的同时应结合区域水文地质条件同步采取风险管控措施,阻断地下水污染物暴露途径,防止污染扩散。

6.3.4.2 经修复技术评估,无法达到 6.3.3 确认的地下水修复目标值,应制定地下水污染风险管控目标作为地下水污染修复的阶段目标。

6.3.4.3 制定的风险管控目标应实现阻断暴露途径,并有效控制或减缓污染物迁移扩散。

6.3.4.4 风险管控目标可基于风险评估结果、污染模拟预测进行制定,可包括风险管控工程质量、工程效果以及长效性等要求。

6.3.5 确认修复和风险管控范围

确认前期地块调查和风险评估提出的地下水污染修复和风险管控范围是否明确,包括四周边界和污染含水层的深度分布,结合目标污染物及指标的修复和风险管控目标,分析需要修复的地块地下水污染量和需要风险管控的地下水空间范围。地块边界外存在地下水污染时,修复和风险管控范围应包括地块边界外污染区域。

6.4 选择修复和风险管控模式

6.4.1 与地块利益相关方进行沟通,确认对地下水污染修复和风险管控的要求,如修复周期、预期经费投入等。

6.4.2 根据地块特征条件、修复和风险管控目标等,确定地块修复和风险管控总体思路,修复和风险管控活动可协同进行。

6.4.3 鼓励采用绿色低碳、可持续、资源化修复和风险管控技术。可选择降低污染物毒性、迁移性、数量与体积的修复技术,阻断暴露途径和阻止地下水污染扩散的工程控制措施,或限制敏感受体暴露行为的制度控制措施中的任意一种或其组合。

6.4.4 对于地下水埋深小的松散岩类孔隙水地块,若同时存在土壤污染,可结合地块和区域水文地质条件,统筹考虑地下水、土壤污染实际情况,实施地下水、土壤协同修复或风险管控。

6.4.5 对于需要开发利用地下空间的地块,在保证地块安全利用的前提下,必要时可将修复和风险管控过程中的基坑支护、止水帷幕、土方开挖、地下水抽出等工程与地块开发建设统一设计。

6.4.6 需开展后期管理的地块,应根据前期风险评估报告等提出的建议,结合选择的修复和风险管控模式,分析地块后期管理方式。

6.5 筛选修复和风险管控技术

6.5.1 技术初步筛选

6.5.1.1 根据地块水文地质条件、地下水污染特征和确定的修复和风险管控模式等,从适用的目标污染物、技术成熟度、效率、成本、时间和环境风险等方面,分析比较现有修复和风险管控技术的优缺点,重点分析各技术工程应用的适用性,常见修复和风险管控技术适用性可参见附录 A。可采用对比分析、矩阵评分和类比等方法,初步筛选一种或多种修复和风险管控技术。

6.5.1.2 地块水文地质资料不完备、地下水流场不清楚、无法提供相关水文地质参数用于技术筛选的,应补充开展水文地质勘察工作。

6.5.2 技术可行性分析

技术可行性分析方法包括案例分析、实验室小试、现场中试、模拟分析等,几种方法可结合使用。实验室小试、现场中试、模拟分析相关技术要求按照 HJ 25.6 执行。

6.5.3 技术综合评估

基于技术可行性分析结果,采用对比分析或矩阵评分法对初步筛选的技术进行综合评估,确定一种或多种可行的修复和风险管控技术。

6.6 制定修复和风险管控技术方案

6.6.1 按照制定备选方案、比选技术方案、制定环境管理计划等流程制定地下水污染修复和风险管控技术方案。相关技术要求按照 HJ 25.6 执行。修复和风险管控技术方案的格式见附录 B。

6.6.2 需开展后期管理的地块,修复和风险管控技术方案中应包括后期管理建议。后期管理建议应包括修复和风险管控工程结束后地块环境风险的识别、后期管理方式和措施建议等内容。

7 工程实施

7.1 修复和风险管控工程设计及施工

7.1.1 根据地块现状,必要时完善地块概念模型,重点关注地块修复和风险管控技术方案制定后发生的重大变化。

7.1.2 修复和风险管控工程设计及施工相关技术要求按照 HJ 25.6 执行。

7.2 修复和风险管控工程运行及监测

7.2.1 运行维护

修复和风险管控工程运行维护相关技术要求按照 HJ 25.6 执行。

7.2.2 运行监测

7.2.2.1 监测井的布设

7.2.2.1.1 监测井应根据地块地质与水文地质条件、地下构筑物情况、地下水污染特征、采用的修复和风险管控技术进行布设,同时考虑相邻污染地块、上游地下水重点污染源以及邻近地表水体等周边敏感受体情况。监测井位置和数量应满足污染羽特征刻画、工程运行状况分析、周边污染源和敏感受体等影响的监测要求。可充分利用地块环境调查设置的监测井。

7.2.2.1.2 内部监测井设置在修复和风险管控范围的内部,可结合污染羽分布情况、修复和风险管控工程特点,按三角形或四边形布设。

7.2.2.1.3 周边监测井设置在修复和风险管控范围的上游、下游和两侧。若距离地块修复或风险管控范围周边 500 m 内存在其他污染地块,应在地块外邻近其他污染地块方向设置监测井。若地块上游存在地下水重点污染源,应在地块外地下水上游位置设置监测井。若地块周边存在地表水体等敏感受体,应在地下水污染羽边缘和敏感受体之间设置监测井,同时采集邻近地表水体样品。当污染地下水可能影响临近含水层时,应针对该含水层设置监测井,以评估修复和风险管控工程对该含水层的影响。

7.2.2.1.4 每个污染地下水含水层对照井至少设置 1 个,内部监测井至少设置 3~4 个,周边监测井至少设置 4 个,可根据修复和风险管控工程特点、相邻污染地块、上游地下水重点污染源以及邻近地表水体等周边敏感受体情况合理调整。对于修复工程,内部监测井设置网格不宜大于 80 m×80 m,存在非水溶性有机物或污染物浓度高的区域,设置网格不宜大于 40 m×40 m。

7.2.2.1.5 当含水层厚度大于 6 m 时,应分层进行采样,可采用多层监测,根据污染物特征、含水层结构等进行合理调整。对于低密度非水相液体,监测点应设置在含水层顶部;对于高密度非水相液体,监测点应设置在含水层底部和隔水层顶部。当地下水污染涉及多个含水层时,应针对不同含水层分别设置监测井并分层止水。

7.2.2.2 监测指标

7.2.2.2.1 工程运行期间需对目标污染物及指标、地下水水位、工程性能指标、注入药剂特征指标、二次污染物等进行监测。工程性能指标、注入药剂特征指标、二次污染物按照 HJ 25.6 执行。

7.2.2.2.2 当地块修复或风险管控范围周边 500 m 内存在其他污染地块,或地块上游存在地下水重点污染源,或地块存在邻近地表水体时,需根据相邻污染地块、上游地下水重点污染源的的特征污染物情况以及邻近地表水体的水质要求补充相应监测指标。

7.2.2.2.3 工程运行期间需关注可能引发的地面沉降等地质问题,必要时进行监测或采取措施。

7.2.2.3 监测频次

地下水修复和风险管控工程监测频次相关技术要求按照 HJ 25.6 执行。

7.2.3 趋势预测及运行状况分析

7.2.3.1 修复和风险管控工程趋势预测及运行状况分析相关技术要求按照 HJ 25.6 执行。

7.2.3.2 当出现修复或风险管控效果低于预期、局部区域修复和风险管控失效、污染扩散、地块地下水受

周边污染源影响等不利情况时,应提高监测频次,分析工程实施效果,优化实施方案,必要时采取补救措施。

8 效果评估

8.1 完善地块概念模型

应通过资料回顾、现场踏勘、人员访谈等方式,根据地块修复和风险管控进度以及掌握的关键信息,完善地块概念模型。相关技术要求可按照 HJ 25.5 执行。

8.2 修复效果评估

8.2.1 评估范围应包括地块内全部区域,以及修复过程可能涉及的二次污染区域。地块边界外存在地下水污染时,评估范围应包括地块周边污染区域。评估对象为地块评估范围内的地下水,对于采用地下水抽出处理的地块,评估对象应包括抽出处理后的外排水。

8.2.2 需初步判断地下水中污染物浓度稳定达标,同时地下水流场达到稳定状态或经至少连续 4 批次的季度地下水水位水质监测、流场分析、数值模拟等手段分析表明流场变化对污染物浓度变化趋势影响较小时,方可进入地下水修复效果评估阶段。两个批次之间间隔不应少于 1 个月。地下水中污染物浓度稳定达标初步判断方法按照 HJ 25.6 执行。

8.2.3 修复范围内部的地下水根据修复进度、修复设施设置、地块及区域水文地质条件等情况,若地下水修复范围不重叠且修复过程中不相互影响的,可分阶段、分区域开展修复效果评估。

8.2.4 修复范围内每个含水层上游应至少设置 1 个监测点,内部应至少设置 3 个监测点,周边至少设置 4 个监测点。周边监测井中下游应至少设置 2 个监测点,垂直地下水流向方向可适当布点。针对不同含水层应分别设置监测井并分层止水。可充分利用地块环境调查、工程运行阶段设置的符合修复效果评估采样条件的监测井。潜在二次污染区域及修复范围以外区域应根据修复设施设置、潜在二次污染来源等资料判断布点,也可根据系统布点法设置监测点。

8.2.5 当地块修复范围周边 500 m 内存在其他污染地块,或地块上游存在地下水重点污染源,或地块存在邻近地表水体时,应根据相邻污染地块、上游地下水重点污染源的污染特征以及邻近地表水体的水质要求合理调整监测井布设并补充相应监测指标。同时,根据地块地下水流场和监测数据情况,分析周边污染源是否对地块地下水污染修复效果造成不利影响。

8.2.6 采样持续时间和频次、布点位置、监测指标、现场采样与实验室检测、评估标准值、达标判断以及残留污染物风险评估等其他相关技术要求按照 HJ 25.6 执行。

8.3 风险管控效果评估

8.3.1 评估范围应包括地块内全部区域,以及风险管控过程可能涉及的二次污染区域。地块边界外存在地下水污染时,评估范围应包括地块周边污染区域。评估对象为地块评估范围内的地下水。

8.3.2 风险管控效果评估一般在工程设施完工 1 年内开展。可结合地块土壤污染风险管控措施,与土壤风险管控效果评估协同开展。

8.3.3 对于地下水流场变化较大的地块,可通过地下水水位水质监测、数值模拟等手段进行流场分析并适当提高采样频次。

8.3.4 风险管控范围内每个含水层上游应至少设置 1 个监测点,内部应至少设置 3 个监测点,周边至少设置 4 个监测点。周边监测井中下游应至少设置 2 个监测点,垂直地下水流向方向可适当布点。针对不同含水层应分别设置监测井并分层止水。地下水监测井设置可结合风险管控措施的布置合理调整。可充分利用地块环境调查、工程运行阶段设置的符合风险管控效果评估采样条件的监测井。潜在二次污染

区域及风险管控范围以外区域应根据风险管控设施设置、潜在二次污染源等资料判断布点,也可根据系统布点法设置监测点。

8.3.5 当地块风险管控范围周边 500 m 内存在其他污染地块,或地块上游存在地下水重点污染源,或地块存在邻近地表水体时,应根据相邻污染地块、上游地下水重点污染源的污染特征污染物情况以及邻近地表水体的水质要求合理调整监测井布设并补充相应监测指标。同时,根据地块地下水流场和监测数据情况,分析周边污染源是否对地块地下水污染风险管控效果造成不利影响。

8.3.6 采样频次、监测指标、现场采样与实验室检测、评估标准值、评估方法等其他相关技术要求按照 HJ 25.6 执行。

8.4 提出后期管理要求

应根据修复和风险管控效果评估结论,结合修复和风险管控技术方案中的后期管理建议,提出地块地下水后期管理要求。

8.5 编制效果评估报告

效果评估报告应包括地块概况、地下水污染修复和风险管控实施情况、环境保护措施落实情况、效果评估布点与采样、检测结果分析、效果评估结论及后期管理要求等,可参考附录 C 编制。

9 后期管理

9.1 通则

9.1.1 应明确地块开发建设过程对于地下水保护、基坑排水等方面的环境管理要求。

9.1.2 后期管理对象包括实施风险管控的地块、用地性质规划为第一类用地的且修复后土壤中污染物含量高于 GB 36600—2018 第一类用地筛选值的地块,以及效果评估报告提出的需要进行后期管理的地块。

9.1.3 根据效果评估报告提出的后期管理要求,结合地块开发建设情况等,确定后期管理方式,制定后期管理方案。

9.1.4 后期管理方式包括长期监测与制度控制,两种方式可结合使用。

9.2 后期管理方式

9.2.1 长期监测

9.2.1.1 一般通过设置地下水监测井进行周期性地下水样品采集和检测,必要时也可设置土壤气监测井进行土壤气样品采集和检测,监测井位置应优先考虑污染物浓度高的区域、敏感受体所处位置等。

9.2.1.2 应充分利用地块内及周边符合采样条件的监测井。

9.2.1.3 长期监测宜每年开展 1 次,可根据实际情况进行调整。

9.2.2 制度控制

制度控制包括限制地块使用方式、限制地下水利用方式、通知和公告地块潜在风险、制定限制进入或使用条例、跟踪地下水去向、开展施工过程环境监理、制定应急预案等方式,多种制度控制方式可同时使用。

附录 A
(资料性)
地下水污染修复和风险管控技术适用表

地下水污染修复和风险管控技术适用表见表 A.1。

表 A.1 地下水污染修复和风险管控技术适用表

技术分类	技术名称	技术原理	系统组成	适用性	关键工艺参数	实施周期及影响因素
修复技术	抽出处理	根据地下水污染范围,在污染地块布设一定数量的抽水井,通过水泵和水井将污染地下水抽取上来,然后利用地面设备处理	通常由地下水水力控制系统、污染物处理系统和地下水监测系统组成	可处理多种污染物。不宜用于吸附能力较强的污染物,以及渗透性较差或存在非水相液体(NAPL)的含水层	包括含水层渗透系数、含水层厚度、抽水井间距、井群布局、抽水井设计及安装、废水处理单元、监测单元设计等	需要数月数年,实际周期取决于以下因素:(1)待处理地下水的体积;(2)污染程度及污染物性质;(3)设备的处理能力等
	多相抽提	通过真空提取手段,并根据需要结合泵的抽提,同时抽取地下污染区域的土壤气、地下水和非水相液体到地面进行相分离及处理,以实现对地下目标污染物的去除	通常由抽提单元、分离单元、污染物处理单元三个主要工艺单元构成	适用于污染地下水中的苯系物类、氯代溶剂类、石油烃类等挥发性有机物的处理,特别适用于处理易挥发、易流动的高浓度及含有非水相液体的有机污染地块。 不宜用于渗透性差或者地下水水位变动较大的污染地块	包括抽提井的布设、抽提井设计及安装、抽提单元、相分离单元、废水、废气处理单元、监测单元设计等	需要数月数年,实际周期与地块的地质与水文地质条件和污染物性质密切相关,一般需通过中试试验确定
	化学氧化	向污染地下水中添加氧化药剂,通过氧化作用,使地下水中污染物降解成为毒性较低或无毒性物质的修复技术	通常包括药剂配置单元、药剂注入单元,以及供电单元、过程控制单元、监测单元、二次污染防治单元等辅助单元	适用于处理污染地下水中的大部分有机污染物,亦可用于部分无机污染物(如氰化物)。不适用于重金属污染地下水的修复,对于水溶性差的有机污染物可考虑必要的增溶、洗脱方式,有机污染浓度过高时需考虑经济性与可行性	包括药剂种类与剂量、原位注入点位布设、注药方式选择、搅拌方式确定、运行监测设计、二次污染防治设施等	需要数月数年,实际周期取决于以下因素:(1)待处理地下水的体积;(2)污染程度及污染物性质,存在形态;(3)药剂的氧化能力与投加量;(4)土壤理化性质

表 A.1 地下水污染修复和风险管控技术适用表 (续)

技术分类	技术名称	技术原理	系统组成	适用性	关键工艺参数	实施周期及影响因素
修复技术	化学还原	向污染地下水添加还原剂,通过还原作用,使地下水中的污染物转化为无毒或相对毒性较小的物质	通常包括药剂配置单元、药剂注入单元,以及供电单元、过程控制单元、监测单元、二次污染防治单元等辅助单元	适用于处理氯代有机物、硝基化合物、高氯酸盐、六价铬等重金属,主要适用于中低浓度污染地下水的修复	包括污染物的性质、浓度、药剂投加比、氧化还原电位、pH、含水率和其他土壤物理化学条件	需要数月或数年,实际周期与地下水修复方量、污染物初始浓度、修复药剂与目标污染物反应机理有关
	原位热脱附	通过对地输入热能,加热土壤和地下水,提高目标污染物的蒸汽压及溶解度,促进污染物挥发或溶解,并通过多相抽提实现对目标污染物的去除	通常包括加热单元、抽提单元、废水废气处理单元及监测单元等主体单元,以及供能单元、阻隔、过程控制等辅助单元	适用于处理污染地下水中的苯系物、石油烃、卤代烃、多氯联苯、二噁英等挥发性和半挥发性有机物。特别适用于处理高浓度及含有 NAPL 的地下介质及低渗透地层。 不适用于地下水流速较快的污染区域	包括目标温度和加热方式、加热井/抽提井的布设、加热井构造及安装、抽提井设计及安装、蒸汽处理单元、废水处理单元、监测单元设计等	需要数月或数年,实际周期取决于以下因素:(1)待处理地下水的体积;(2)污染程度及污染物性质;(3)设备的处理能力;(4)能源供应条件等
风险管控	水力控制	通过布置抽/注水井,人工抽取地下水或向含水层中注水,改变地下水的流场,从而控制污染物迁移的一种水力技术	通常包括井群系统和地下水监测系统,以及管路、供能、过程控制等辅助单元	适用于地下水中污染物浓度较高、污染范围大的地块,适用于卤代有机物(四氯乙烯、氯乙烯等),非卤代挥发性有机物(苯、甲苯、乙苯、二甲苯)以及铬、铅、镉等污染物,主要用于短时期的风险控制或应急管控。不宜作为地下水污染治理的长期手段,对于存在黏性土透镜体以及渗透性较差的含水层处理效果较差	包括井群设计、抽/注水井设置、水泵选择、监测单元设计等	实施周期主要根据风险管控的目的及需求确定,与场地的水文地质条件、污染程度及污染物性质、井群分布和井群数量、深度等密切相关

表 A.1 地下水污染修复和风险管控技术适用表 (续)

技术分类	技术名称	技术原理	系统组成	适用性	关键工艺参数	实施周期及影响因素
风险管控	可渗透反应墙	在受污染地下水流经的路径上建造由反应材料组成的反应墙,通过反应材料的吸附、沉淀、化学降解或生物降解等作用去除地下水中的污染物	典型的可渗透反应墙结构包括连续反应带系统、漏斗-导门式反应系统、注入式反应系统三类。连续反应带系统主要由一系列包含修复填料的反应区组成。漏斗-导门系统包括不透水区域(漏斗墙)、透水区域(导水门)和反应介质填料单元。注入式反应系统采用地下井直接注射修复药剂的形式	适用于处理污染地下水中的氯代溶剂类、石油烃类、重金属、硝酸盐、高氯酸盐等有机、无机污染物。主要用于渗透性较好的孔隙、裂隙和岩溶含水层	包括活性填料区施工工艺、活性填料注入方法、防渗墙材料及施工工艺以及监测单元设计等	需要数月数年,实际周期取决于以下因素:(1)待处理地下水的体积;(2)污染程度及污染物性质;(3)系统的处理能力;(4)填料种类;(5)修复的深度等
	监控自然衰减	通过实施有计划的监控策略,依据场地自然发生的物理、化学及生物作用,包含生物降解、扩散、吸附、稀释、挥发、放射性衰减以及化学性或生物性稳定剂等,使得地下水中污染物的含量、毒性、移动性降低到风险可接受水平	主要由监测井网系统构成,但同时需制定完整的监测计划、自然衰减性能评估方法和应急预案	适用于处理地下水中的碳氢化合物(如苯系物、石油烃、多环芳烃、甲基叔丁基醚)、氯代烃、硝基芳香烃、重金属类、类金属类(砷)、非金属类(硒)、含氧阴离子(如硝酸盐、过氯酸盐)、放射性核素等。不适用于对修复时间要求较短的情况,对自然衰减过程中的长期监测、管理要求高	包括地块特征污染物、污染源及受体的暴露位置、地下水水流及溶质运移参数、污染物衰减速率等	需要数月至数年,实际周期与污染物种类、浓度以及物理化学性质等有关

表 A.1 地下水污染修复和风险管控技术适用表（续）

技术分类	技术名称	技术原理	系统组成	适用性	关键工艺参数	实施周期及影响因素
风险管控	阻隔技术	采用阻隔、堵截、覆盖等工程措施,将污染物封闭于场地内,避免污染物对人体和周围环境造成风险、同时控制污染物随降水或地下水向周围环境迁移扩散的技术措施	阻隔技术包括垂直阻隔和水平阻隔两大类。垂直阻隔主要由垂直阻隔屏障系统、监测系统组成。水平阻隔主要由污染区域顶部覆盖系统、监测系统组成	适用于各种重金属、有机物及重金属有机物复合污染的地下水	包括阻隔材料的性能、阻隔系统深度和厚度等	需要数月至数年,实际周期取决于以下几个因素:(1)待处理地下水的体积;(2)污染深度;(3)阻隔技术类型;(4)阻隔结构复杂程度

附 录 B
(资料性)

建设用地地下水污染修复和风险管控技术方案编制提纲

建设用地地下水污染修复和风险管控技术方案编制提纲一般包含总论、地块问题识别、地下水污染修复和风险管控模式选择、地下水污染修复和风险管控技术筛选、地下水污染修复和风险管控技术方案制定、环境管理计划、后期管理建议、成本效益分析、施工进度安排、结论等章节。

示例：

- 1 总论
 - 1.1 任务由来
 - 1.2 编制依据
 - 1.3 编制原则
 - 1.4 编制内容
- 2 地块问题识别
 - 2.1 地块所在区域概况
 - 2.2 地块基本信息
 - 2.3 地块水文地质概况
 - 2.4 地块地下水污染现状
 - 2.5 风险评估
- 3 地下水污染修复和风险管控模式选择
 - 3.1 修复和风险管控总体思路
 - 3.2 修复和风险管控目标
 - 3.3 修复和风险管控范围
 - 3.4 确定地下水污染修复和风险管控模式
- 4 地下水污染修复和风险管控技术筛选
 - 4.1 技术初步筛选
 - 4.2 技术可行性分析
 - 4.3 确定修复和风险管控技术
- 5 地下水污染修复和风险管控技术方案制定
 - 5.1 技术路线
 - 5.2 工艺参数
 - 5.3 工程量估算
 - 5.4 费用和周期估算
 - 5.5 方案比选
- 6 环境管理计划
 - 6.1 环境影响分析
 - 6.2 二次污染防治措施
 - 6.3 环境监测计划
 - 6.4 环境应急安全计划
- 7 后期管理建议(需要进行后期管理时)
 - 7.1 环境风险分析

- 7.2 后期管理方式
- 7.3 后期管理措施
- 8 成本效益分析
 - 8.1 修复和风险管控费用
 - 8.2 环境效益、经济效益和社会效益
- 9 施工进度安排
- 10 结论

附 录 C
(资料性)

建设用地地下水污染修复和风险管控效果评估报告编制提纲

建设用地地下水污染修复和风险管控效果评估报告编制提纲一般包含项目背景、工作依据、地块概况、地块概念模型、布点方案、现场采样与实验室检测、效果评估、后期管理要求、结论和建议等章节。

示例：

1 项目背景

简要描述地块基本信息,调查评估及修复和风险管控的时间节点与概况、相关批复情况等。

2 工作依据

2.1 法律法规

2.2 标准规范

2.3 项目文件

3 地块概况

3.1 地块基本信息(位置、周边环境、地块利用规划)

3.2 地块水文地质概况

3.3 地块调查评估结论

3.4 修复和风险管控方案

3.5 修复和风险管控实施情况(包括工程实施、工程监理、环境监理情况)

3.6 环境保护措施落实情况

3.7 后期管理建议情况

4 地块概念模型

4.1 资料回顾

4.2 现场踏勘

4.3 人员访谈

4.4 地块概念模型

5 布点方案

5.1 评估范围

5.2 采样节点和频次

5.3 布点数量与位置

5.4 检测指标

5.5 评估标准值

6 现场采样与实验室检测

6.1 样品采集

6.2 实验室检测

7 效果评估

7.1 检测结果分析

7.2 修复和风险管控效果评估

8 后期管理要求(需要进行后期管理时)

8.1 环境风险分析

8.2 后期管理方式

8.3 后期管理措施

9 结论和建议

9.1 效果评估结论

9.2 建议与要求

参 考 文 献

- [1] GB 3838 地表水环境质量标准
 - [2] HJ 25.1 建设用地土壤污染状况调查技术导则
 - [3] HJ 25.2 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则
 - [4] HJ 25.4 建设用地土壤修复技术导则
 - [5] HJ 25.5 污染地块风险管控与土壤修复效果评估技术导则(试行)
 - [6] HJ 164 地下水环境监测技术规范
 - [7] HJ 610 环境影响评价技术导则 地下水环境
 - [8] 地下水环境状况调查评价工作指南(环办土壤函[2019]770号)
 - [9] 地下水污染模拟预测评估工作指南(环办土壤函[2019]770号)
 - [10] 生态环境部土壤生态环境司,生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心,生态环境部南京环境科学研究所.地下水污染风险管控与修复技术手册[M].北京:中国环境出版集团,2021.
 - [11] 生态环境部土壤生态环境司,生态环境部南京环境科学研究所.土壤污染风险管控与修复技术手册[M].北京:中国环境出版集团,2022.
-