《石油化工场地土壤—地下水污染协同阻控与修复技术导则》

编制说明

中国科学院南京土壤研究所

北京高能时代环境技术股份有限公司

中华人民共和国生态环境部南京环境科学研究所

南开大学

中国地质大学

江苏省环境科学研究院

江苏省环境工程技术有限公司

中船绿洲环保(南京)有限公司

南京尚土生态环境有限公司

目 录

1 任务来源 1
2 制定标准的必要性和意义 1
3 主要起草过程 2
4 制定标准的原则和依据 2
4.1 制定原则 2
4.2 编制依据 3
5 主要条款说明 5
5.1 导则目和适用范围 5
5.2 导则术语和定义 5
6 “风险识别与评估”章节编制说明 6
6.1 关于“风险识别”方案 6
6.2 关于“风险评估”方案 6
7. 源头阻控措施的说明 8
7.1一般规定 8
7.2源头阻控方案制定的说明 9
7.2.1 确认石油化工地块污染特征 9
7.2.2 确认源头阻控目标的说明 10
7.2.3 选择源头阻控模式的说明 11
7.2.4 筛选源头阻控技术的说明 12
7.2.5 制定源头阻控技术方案的说明 12
7.3 源头阻控工程设计的说明 13
7.3.1 竖向阻隔工程设计的说明 13
7.3.2 水平阻隔工程设计的说明 14
7.4 源头阻控工程施工及质量控制的说明 15
7.4.1 竖向阻隔工程施工及质量控制的说明 15
7.4.2 水平阻隔和地面覆盖工程施工及质量控制的说明 17
8 “协同阻控与修复措施”的编制说明 18
8.1 关于污染修复措施的“一般规定”说明 18
8.2 “关于石油化工场地修复技术”说明 19

8.2.1 关于“化学氧化修复技术”说明 19
8.2.2关于“气相/多相抽提技术”说明 20
8.2.3 关于“热脱附技术”说明 21
8.2.4 关于“资源化协同处置技术”说明 22
8.2.7关于阻隔填埋技术说明 22
8.2.8 关于“抽出处理技术”说明 23
8.3 污染修复施工说明 23
8.4 关于污染修复质量控制说明 25
9 “监测与监督”章节编制说明 25
9.1 关于“监测布点方案” 25
9.2 关于“采样方案”的说明 27
9.3 关于“分析方案”的说明 27
9.4 关于“监测频率”的说明 28
9.5 关于“运行维护”的说明 29

1 任务来源

为了响应国家政策要求，贯彻落实《中华人民共和国环境保护法》，解决现有石油化工场地土壤-地下水污染标准的不足，提出制定《石油化工场地土壤-地下水污染协同阻控与修复技术导则》。该导则旨在通过科学研究和技术创新，提出一套符合我国国情、区域土壤特征的土壤和地下水污染协同阻控与修复技术体系，以实现土壤环境的精准治理和有效保护，促进生态文明建设和生态环境质量的持续改善。项目承担单位为中国科学院南京土壤研究所、北京高能时代环境技术股份有限公司、南开大学、中国地质大学、中华人民共和国生态环境部南京环境科学研究所、江苏省环境科学研究院、江苏省环境工程技术有限公司、中船绿洲环保(南京)有限公司、南京尚土生态环境有限公司。

2 制定标准的必要性和意义

随着工业化的快速发展，石油化工产业在我国经济中的地位日益重要。然而，这一产业的繁荣也伴随着一系列环境问题，特别是场地土壤和水资源的污染问题。石油化工生产过程中涉及的化学物质复杂多样，一旦泄漏或不当处理，极易对土壤和水体造成长期且难以逆转的污染。因此，编制一份“石油化工场地土壤-水污染立体化协同阻控与修复技术导则”显得尤为必要。

本导则的编制旨在为石油化工场地的土壤和水污染协同阻控与修复提供系统性、科学性的指导。通过明确风险识别、评估、协同管控与修复、应急响应等方面的具体要求和措施，本导则有助于提升场地管理方的风险意识和管控修复能力，减少污染事件的发生，保护生态环境和人民健康。

同时，本导则也体现了国家对于环境保护的重视程度和对于石油化工产业可持续发展的要求。通过推广和应用本导则，可以推动石油化工产业在追求经济效益的同时，更加注重环境保护和社会责任，实现经济效益和环境效益的双赢。

因此，本导则的编制不仅是必要的，而且是紧迫的。我们期待通过本导则的实施，为石油化工场地的土壤和水污染协同管控与修复提供有力支持，为构建美丽中国、实现可持续发展贡献力量。

3 主要起草过程

2020年3月，科技部发布了国家重点研发计划“场地土壤污染成因与治理技术”重点专项2020年度项目申报指南，围绕国家场地土壤污染防治的重大科技需求，设立了“场地土壤-水污染多介质协同修复机理”项目。

2020 年 11 月，中国21 世纪议程管理中心对“场地土壤-水污染多介质协同修复机理（2020YFC1807000）”正式立项，该项目由牵头单位中国科学院南京土壤研究所，联合南京大学、南开大学、北京高能时代环境技术股份有限公司、中国地质大学、和江苏省环科院共同实施。项目以长三角、京津冀典型石油、化工重点行业聚集区场地为对象，研究多环芳烃、卤代有机污染物等典型污染物在土壤-地表水-地下水的迁移分配规律和时空分布特征，揭示污染物多介质迁移转化与累积耦合机制，构建土壤-地表水-地下水污染物多介质、多相流、多反应、多情景时空演化模型；研究场地土壤-水多介质污染物调控与治理的物理、化学和生物学耦合机制，揭示土壤-水污染协同阻控与修复技术原理；阐明高效、经济、安全的场地土-水污染多介质组合技术优化协同整治机制并示范性验证。

2021 年9月，成立标准编制组，正式开展石油化工场地土壤-地下水污染协同阻控与修复技术导则的制定工作。

2024 年9 月，编制组初步确定了明确石油化工污染场地风险识别、评估、协同管控与修复、应急响应等方面的具体要求和措施，并形成《石油化工场地土壤-地下水污染协同阻控与修复技术导则》。

4 制定标准的原则和依据

4.1 制定原则

以《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》、《中华人民共和国水污染防治法》、《土壤污染防治行动计划》和《关于加强土壤污染防治工作的意见》等我国现行的环境保护法律法规、政策、条例、标准的相关规定和要求为主要依据，确保石油化工场地土壤-地下水污染协同阻控与修复技术导则的制定符合国家法律法规的要求。

科学性原则是整个导则制定过程的基石。在石油化工场地土壤-地下水污染协同阻控与修复技术导则制定过程中，我们严格遵循科学严谨的原则，确保导则与国内外的先进经验相结合，以形成一个既实用又高效的体系，确保每一项技术措施都经过严格的科学验证，能够有效应对土壤和地下水污染问题。预防为主的原则则提醒我们，污染的预防远比事后修复来得重要和经济，因此在导则中应包含一系列预防措施，以减少污染事件的发生概率。

在借鉴国内外经验方面，石油化工场地土壤-地下水污染协同阻控与修复技术导则制定过程中参考国际上如美国的修复指南和欧盟的相关指令和标准，这些国际标准和指南为我们提供了宝贵的经验和参考。同时，国内的成功案例，如一些已经完成的土壤和地下水污染修复项目，也是学习的重要对象。这些案例不仅帮助我们了解国内的实际情况，还能从成功和失败中吸取教训，为技术导则的制定提供实践支持。

在评估技术导则的体系可行性和可行性时，我们需要从多个角度进行深入分析。技术可行性是首要考虑的因素，它要求所提出的修复技术必须经过科学验证，确保其成熟、有效，能够达到预期的修复目标。经济可行性也是不可忽视的，我们需要详细分析修复成本和效益，确保修复方案在经济上是可行的，不会给企业或政府带来过重的经济负担。同时，社会可行性和环境可行性也是重要的评估指标，我们需要考虑修复活动对当地社区和环境的影响，确保社会可接受且不会造成二次污染。最后，法律合规性也是我们必须严格遵守的原则，我们要确保修复方案符合现行法律法规的要求，避免法律风险。

4.2 编制依据

GB/T1.12020 标准化工作导则第1部分:标准化文件的结构和起草规则

GB8978-1996 污水综合排放标准

GB 50016-2014 建筑设计防火规范

GB16297-1996 大气污染物综合排放标准

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）

GB/T 14848-2017 地下水质量标准

GB 3838-2002 地表水环境质量标准

GB/T 30760-2024 水泥窑协同处置固体废弃物技术规范

HG/T20715-2020 工业污染场地竖向阻隔技术规范

SL 392-2007 固相萃取气相色谱/质谱分析法（GC/MS）测定水中半挥发性有机污染物

HJ 1021-2019 土壤和沉积物 石油烃（C_{10}-C_{40}）的测定 气相色谱法

HJ 894-2017 水质 可萃取性石油烃（C_{10}-C_{40}）的测定 气相色谱法

HJ 805-2016 土壤和沉积物 多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法

HJ 784-2016 土壤和沉积物 多环芳烃的测定 高效液相色谱法

HJ 478-2009 水质多环芳烃的测定 液液萃取和固相萃取高效液相色谱法

HJ 605-2011 土壤和沉积物 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法

HJ 639-2012 水质 挥发性有机物的测定 吹扫捕集/气相色谱-质谱法

HJ 834-2017 土壤和沉积物 半挥发性有机物的测定 气相色谱-质谱法

HJ1161-2021 环境标志产品技术要求

HJ 164-2020 地下水环境监测技术规范

HJ 1209-2021 工业企业土壤和地下水自行监测 技术指南

HJ 25.1-2019 建设用地土壤污染状况调查技术导则

HJ 25.2-2019 建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则

HJ 25.4-2014 污染场地土壤修复技术导则

HJ 25.6-2019 污染地块地下水修复和风险管控技术导则

HJ/T 166-2004 土壤环境监测技术规范

HJ 1019-2019 地块土壤和地下水中挥发性有机物采样技术导则

5 主要条款说明

5.1 导则目和适用范围

本导则旨在规范石油化工场地土壤和地下水污染风险的协同阻控与修复工作，确保场地土壤和地下水资源的安全和可持续利用。

本导则适用于所有退役及在产石油化工相关的工业园区等涉及土壤和地下水污染风险的场地。

本导则不适用于放射性物质的场地。

5.2 导则术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

5.2.1 石油化工企业 petrochemical enterprisie

从事石油、天然气及其产品的开采、加工、提炼、运输等业务的企业。

5.2.2 场地修复 site semediation

采用物理、化学或生物的方法固定、转移、吸收、降解或转化场地土壤、地下水中的污染物，其含量降低到可接受水平，或将有毒有害的污染物转化为无害物质的过程。

5.2.3 目标污染物 target contaminant

在土壤或地下水中存在，其数量或浓度已达到对生态系统和人体健康具有实际或潜在不利影响的，需要行风险管控和修复的污染物。

5.2.4 场地风险识别与评估 site risk assessment

对特定场地可能存在的风险因素以及这些风险对人员、财产和环境可能造成的影响进行识别、分析和评价的过程。

5.2.5 阻隔性能containment performance

竖向阻隔屏障减缓污染物以对流、水动力弥散方式迁移以及吸附污染物的综合性能，可采用渗透系数、水动力弥散系数、阻滞因子定量评价。

5.2.6 场地修复目标 site remediation goal

由场地环境调查和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污染修复终点。

6 “风险识别与评估”章节编制说明

6.1 关于“风险识别”方案

“5.1.1 石油化工场地土-水介质典型污染水平调查”提出：**参考国家及行业标准，利用气相色谱质谱联用仪、液相色谱质谱联用仪、吹扫捕集-气相色谱质谱联用仪等方法对土-水介质中，总石油烃、多环芳烃、挥发性有机物等物质进行定量分析，明确关键污染物及空间分布特征**。

【说明】石油化工场地典型污染物包括石油烃、多环芳烃、挥发性有机物等等，应该参照国家标准方法对其进行定量分析，以评估场地土-水介质污染物浓度水平。可参考方法已经在正文中列表呈现，包括但不局限于HJ 1021-2019 土壤和沉积物 石油烃（C10-C40）的测定 气相色谱法；HJ 894-2017 水质 可萃取性石油烃（C10-C40）的测定 气相色谱法；HJ 805-2016 土壤和沉积物 多环芳烃的测定 气相色谱-质谱法；HJ 784-2016 土壤和沉积物 多环芳烃的测定 高效液相色谱法；HJ 478-2009 水质 多环芳烃的测定 液液萃取和固相萃取高效液相色谱法；HJ 736-2015 土壤和沉积物 挥发性卤代烃的测定 顶空/气相色谱-质谱法；SL/T 741-2016 水质 挥发性卤代烃的测定吹扫捕集-气相色谱法。方法涉及气相色谱、液相色谱及其与质谱的联用系统，可根据实验室条件和方法检出限等条件选取合适的监测方法。

“5.1.2 石油 化工场地土-水介质特征污染物筛查”提出：**可进一步开展基于高分辨质谱的非靶向筛查分析（NIST数据库，mzCloud质谱数据库等），识别丰度较高的潜在污染物**。

【说明】NIST化学数据库（NIST Chemistry WebBook）是一个综合性的化学信息数据库。该数据库包含了大量化合物的热力学、光谱学、和物理化学性质数据，可以获取物质分子量、质谱等关键数据；mzCloud数据库则是一个专门用于存储和分析化合物的质谱数据库。它以精确的质谱碎片信息为基础，覆盖了大量化学物质的质谱图，包括正负离子模式下的高分辨率质谱。通过与已有的质谱数据进行比对，识别未知物质或确认已知化合物。结合气质和液质高分辨质谱中的NIST和mzCloud库匹配分析，可鉴定复杂样品中的化学成分，实现场地土-水多介质中污染物的广谱筛查。

6.2 关于“风险评估”方案

“5.2.1 场地污染物的人体健康风险评估”提出：**结合地块利用规划并依据风险识别部分获取的特征污染物浓度水平，明确污染暴露情景和暴露途径；根据地块水文地质调查、文献资料等，确定暴露参数（水文地质参数、暴露时间、暴露频率、敏感受体相关参数等）和污染物毒性参数，以计算和评估土壤、水介质中特征污染物的总致癌风险和危害指数**。

【说明】参照HJ 25.3—2019《建设用地土壤污染风险评估技术导则》对暴露评估技术的要求。风险评估过程建议分为“分析暴露情景”“确定暴露途径”“计算第一类用地土壤和地下水暴露量”“计算第二类用地土壤和地下水暴露量”“分析污染物毒性效应”“计算地块土壤和地下水污染风险”等过程。基于此工作流程和要求，提出了上述本技术的人体健康风险评估方案，从暴露情景、暴露途径、暴露参数、毒性参数等角度，综合计算污染物致癌风险和危害系数。

5.2.2 “场地污染物的生态风险评估”提出：**使用风险商模型（RQ）计算场地污染物的生态风险。RQ值由场地土壤、水样本中计算测得的实际浓度（MEC）与无效应浓度（PNEC）的比值获得。$0.01 \leq RQ < 0.1$时为低风险，$0.1 \leq RQ < 1$为中等风险，$RQ \geq 1$为高风险。土壤的无效应风险浓度（$PNEC_{soil}$）由水体无效应浓度（$PNEC_{water}$）和有机碳含量（K_{oc}）推导而得。对于K_{ow}值大于5的物质，PNECsoil 值再额外乘以扩增因子10。$PNEC_{water}$由水生生物的毒性试验数据和评估因子（AF，设为1000）导出。可基于ECORSA等结构效应模型，获取鱼（Fish）、水蚤（Daphnid）和绿藻（Green Algae）的最小急性毒性值（LC50或者EC50），用作毒性数据，计算水体$PNEC_{water}$。综合各个物质的RQ值，加和推导得出土壤、水介质中污染物累积生态风险**。

【说明】无效应风险浓度（PNEC）是物质在环境长期或短期暴露情景下最有可能不发生不利影响的浓度水平。在环境风险评估中，将PNEC与实际或预测环境浓度（MEC）进行比较，以确定物质的风险是否可以接受。如果MEC/PNEC<1，则风险是可以接受的。RQ为风险商，定义为PEC/PNEC，因此，将RQ≥1定义为高风险，$0.1 \leq RQ < 1$为中等风险，$0.01 \leq RQ < 0.1$时为低风险。

PNEC通常通过将毒理学剂量描述符除以评估因子来计算。用于得出PNEC的最常用终点是死亡率（LC50）以及对生长（ECx 或 NOEC）和繁殖（ECx或NOEC）产生影响的效应值。例如：LC50/EC50（半致死浓度/半有效浓度）是

指观察到50%死亡率或功能（例如生长或生长率）抑制时的浓度。NOEC（无可观察效应浓度）是与对照组相比，没有统计学显著差异的最高测试浓度。如只能获得LOEC（最低可观察效应浓度），在这种情况下，NOEC可以计算为LOEC/2。ECx：与对照组相比，观察到或统计得出产生x%（EC10 为 10%）效应的浓度。单位一般为mg/L或mg/kg。

评估因子（AF）用于处理实验室数据与自然条件之间的差异，同时考虑物种间差异和物种内差异，以降低从实验室外推到自然环境的不确定性。此外，在缺乏土壤生物的任何生态毒理学数据的情况下，使用平衡分配法（EPM）根据水体PNEC值临时计算土壤PNEC值，其中，有机碳-水分配系数 Koc是关键参数。

5.3 “修复目标”的规定中指出“**将污染物可接受致癌风险水平和非致癌危害商分别设定为10^{-6}和1，计算污染物风险控制值**”。

【说明】参照HJ 25.3—2019《建设用地土壤污染风险评估技术导则》对于“可接受致癌风险和危害商”的规定，计算基于致癌效应的土壤和地下水风险控制值时，采用的单一污染物可接受致癌风险为10^{-6}；计算基于非致癌效应的土壤和地下水风险控制值时，采用的单一污染物可接受危害商为1。

7. 源头阻控措施的说明

7.1一般规定

(1) 源头阻控措施应遵循安全稳定、科学设计、污染防控、保护生态的原则。

【说明】依据《建设用地地下水污染修复和风险管控技术导则》（DB32/T 4611-2023），源头阻控措施需确保工程的安全性和稳定性，同时科学设计以达到有效的污染防控效果，保护生态环境。这一原则是实现污染场地治理的基本要求，确保工程的长期有效性和环境友好性。

(2) 石油化工污染场地调查、设计、施工、验收及维护管理各个阶段应充分考虑场地源头阻控工程进展及对周边土壤、地表水、地下水环境的影响。

【说明】参考《建设用地土壤污染风险管控和修复 监测技术导则（HJ 25.2—2019）》和《建设用地土壤修复技术导则（HJ 25.4—2019）》的要求，污染场地的各个阶段应全面考虑源头阻控工程的进展情况，特别是对周边环境的影响。通过系统的环境监测和评估，确保对土壤、地表水和地下水的影响在可控范围

内。

(3) 源头阻控工程设计、施工前应进行场地岩土工程勘察与污染状况调查，获取工程地质与污染状况资料，掌握场地现状及规划用途等基本信息。

【说明】根据《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715-2020），在进行源头阻控工程设计和施工前，必须进行详细的场地岩土工程勘察和污染状况调查。这一过程有助于获取必要的工程地质和污染状况资料，确保设计和施工方案的科学性和可行性。

(4) 源头阻控措施包含竖向阻隔、水平阻隔和地面覆盖。

【说明】《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715-2020）详细阐述了竖向阻隔技术，而《DB32/T 4611-2023》和《HJ 25.4—2019》则对水平阻隔和地面覆盖技术进行了补充说明。综合这些技术导则，源头阻控措施应包括竖向阻隔、水平阻隔和地面覆盖，以全面防止污染物扩散。

(5) 源头阻控的材料选用及施工工艺应符合健康、安全、环保、绿色、低碳的要求，实施过程中应充分考虑二次污染控制。

【说明】依据《DB32/T 4611-2023》和《HJ 25.4—2019》，源头阻控工程的材料选用和施工工艺需符合健康、安全、环保、绿色、低碳的要求。同时，应考虑二次污染的控制，确保在施工和运行过程中不会产生新的污染问题。

(6) 源头阻控的设计、施工、验收及维护管控除符合本标准规定外，还应遵守国家现行的有关法律、法规、标准和行业规范的规定，符合国家和地方对工程质量、安全、消防等方面的强制性标准规定。

【说明】本标准也明确，源头阻控工程的各个环节不仅需符合本标准的规定，还应遵守国家和地方的相关法律法规及强制性标准，确保工程质量、安全和消防等方面的合规性。

7.2源头阻控方案制定的说明

7.2.1 确认石油化工地块污染特征

(1) 场地岩土工程勘察应通过测绘、勘探、采样、测试等相结合的方法进行，查明区域水文地质条件、场地土壤理化性质指标、受污染土壤及地下水对材料的腐蚀性等级等。

【说明】岩土勘察不仅需提供场地的基础地质信息，还要结合污染物对材料的腐蚀性情况，这一数据直接影响修复材料的耐久性及适用性。根据《建设用地地下水污染修复和风险管控技术导则》（DB32/T 4611-2023）和《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715-2020），结合阻隔管控工程经验，明确了场地岩土工程勘察的重要性。通过测绘、勘探和采样等手段，确保掌握区域内的水文地质条件、土壤理化性质及污染状况，尤其是腐蚀性等级。这是源头阻控工程设计的基础数据，用于制定修复材料的选择和施工技术方案。

(2) 场地污染状况调查应通过资料收集、现场踏勘、人员访谈、采样、现场快速检测、实验室测试分析等相结合的方法进行，查明污染历史成因，识别污染源及其性质；查明土壤、地下水、地表水环境质量现状和污染物种类及浓度的空间分布；查明地下水污染羽的迁移途径、周边敏感受体、临近地表水、相邻污染场地、上游地下水重点污染源等环境情况。

【说明】污染状况调查是一项多维度的工作，不仅要了解污染源的成因，还要评估污染物对周边环境的扩散情况，尤其是对敏感受体的潜在威胁。识别这些信息有助于制定精准的源头阻控方案，确保有效治理。结合《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6-2019）和《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.2—2019）的要求，结合阻隔管控工程经验，明确了场地污染状况调查的综合方法。通过历史资料收集、现场勘查、访谈和采样等手段，全面掌握污染源及其性质，污染物在土壤和水中的分布情况，以及地下水污染羽的迁移方向。

7.2.2 确认源头阻控目标的说明

(1) 确认前期场地调查和风险评估提出的源头阻控目标是否明确，包括目标污染物及指标、阻控目标、阻控范围等；阻控目标应实现阻断污染暴露途径，并有效控制或减缓污染物的迁移扩散；控制范围包括四周边界和污染含水层的空间范围。

【说明】源头阻控目标必须与污染物的特性和场地的具体情况相匹配，特别是在含水层中的污染物控制方面，需要明确其空间分布和影响范围。目标的设定应基于前期调查的污染物类型、浓度分布以及其迁移路径，确保控制范围覆盖所有受影响区域，防止污染扩散。结合建设用地地下水污染修复和风险管

控技术导则》（DB32/T 4611-2023）、《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.2—2019）和《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6-2019）的规定，结合阻隔管控工程经验，要求明确源头阻控目标，确保针对特定污染物和风险提出具体的阻控措施。导则强调，在源头阻控中，关键目标是阻断污染物与人类健康或环境之间的暴露途径，同时防止污染物的进一步迁移。

(2) 从经济成本、技术成熟度、时间要求等方面进行经济技术评估，分析阻控目标的可达性，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，并按风险评估流程对目标进行调整。

【说明】阻控目标的设置需要在技术上可行，同时在经济上合理，以避免过高成本导致实施困难。此外，时间要求是影响修复目标实现的重要因素，过长的实施周期可能使污染物扩散风险增大，因此要在技术成熟度和经济成本之间寻找平衡。对于目标不可达或不合理的情况，必须开展补充调查和风险评估，依据新的数据重新调整目标。参考了《HJ 25.2—2019 建设用地土壤修复技术导则》和《HJ 25.6-2019 污染地块地下水修复和风险管控技术导则》的要求，特别是在经济技术可行性评估方面。导则指出，在修复和阻控目标设定时，需结合实际的技术水平、经济成本和时间因素，确保目标的合理性和可达性。

7.2.3 选择源头阻控模式的说明

(1) 与污染场地业主方和相关部门进行沟通，确认源头阻控的要求，如施工周期、运行管理要求、预期资金投入等。

【说明】沟通有助于在项目初期明确各方的期望和限制条件，确保方案设计符合实际需求和资源条件，避免后期调整导致的成本增加和进度延误。结合《建设用地地下水污染修复和风险管控技术导则》（DB32/T 4611-2023）和《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.2—2019）的要求，结合阻隔管控工程经验，强调在选择源头阻控模式时，与利益相关方的沟通至关重要。导则指出，明确施工周期、管理要求和资金投入是确保方案可行性的重要前提。

(2) 根据污染场地特征条件、阻控目标、阻控范围等，确定源头阻控的总体模式。

【说明】总体模式的确定需要综合考虑场地的具体条件和技术经济可行性，确保模式能够有效实现阻控目标。参考《污染地块地下水修复和风险管控技术

导则》（HJ 25.6-2019），强调根据场地特征和阻控目标制定总体模式。导则要求在制定模式时，需考虑污染物特性、场地水文地质条件及阻控范围。

7.2.4 筛选源头阻控技术的说明

根据污染场地水文地质条件、污染特征和确定的阻控模式等，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，采用案例分析、实验室小试、现场中试、模式分析等方法相结合进行源头阻控技术的可行性分析；采用对比分析、矩阵评分等方法分析评估现有源头阻控技术的优缺点和工程应用的适用性，确定一种或多种可行的源头阻控技术。

【说明】技术筛选需基于污染物特性和场地条件，通过科学的分析方法评估不同技术的优缺点，确保选择的技术在工程应用中具有实际可行性。结合《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2—2019）和《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715-2020），结合阻隔管控工程经验，要求通过案例分析、实验室小试等方法进行技术可行性分析。导则强调对技术成熟度、效率、成本等进行全面分析。

7.2.5 制定源头阻控技术方案的说明

(1) 按照制定备选方案、比选方案环境管理计划等流程制定源头阻控技术方案。

【说明】通过多方案比选，可以在技术和经济上选择最优方案，确保方案在实施过程中能够有效应对各种不确定性。参考《建设用地地下水污染修复和风险管控技术导则》（DB32/T 4611-2023），强调制定技术方案时需经过备选和比选流程，以确保方案的全面性和合理性。

(2) 需开展后期运行管理维护的场地，源头阻控技术方案中应包含后期运行管理维护建议。

【说明】后期管理和维护是确保阻控效果持续的关键，方案中应详细规划维护措施，以减少后期运行风险和成本。结合《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.2—2019），指出在技术方案中应包含后期管理维护建议，以确保长期效果。

7.3 源头阻控工程设计的说明

7.3.1 竖向阻隔工程设计的说明

(1) 竖向阻隔屏障厚度设计应考虑阻控污染的有效性、水力梯度和施工机械尺寸等因素，竖向阻隔屏障应嵌入渗透系数不大于10^{-7} cm/s的隔水层中，嵌入厚度不小于2m。

【说明】竖向阻隔屏障的厚度和嵌入深度是确保其有效性的关键参数，必须考虑水力梯度和施工机械的实际操作能力。参考《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715-2020）和《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB 16889-2008），规定了竖向阻隔屏障的厚度和嵌入深度要求，确保阻控效果。

(2) 当隔水层埋深过大而采用悬挂式竖向阻隔时，应通过污染物渗流-扩散分析确定竖向阻隔屏障临界嵌入深度。

【说明】悬挂式竖向阻隔在隔水层埋深较大时，需要通过渗流-扩散分析来确定合理的嵌入深度，以确保污染物不会通过未嵌入部分扩散。结合《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6-2019）和《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715-2020），强调在隔水层埋深过大时，通过科学分析确定临界嵌入深度。

(3) 竖向阻隔屏障的设计使用年限应满足场地的用途要求。

【说明】不同用途的场地对竖向阻隔屏障的使用年限有不同要求，设计时需确保屏障在整个使用期内有效。参考《建设用地地下水污染修复和风险管控技术导则》（DB32/T 4611-2023），规定设计使用年限应与场地用途相匹配。

(4) 工程设计中应充分考虑竖向阻隔屏障对地层分布、地下水流向、水力梯度等区域水文地质条件的潜在影响。

【说明】竖向阻隔屏障会改变地下水流向和水力梯度，设计时需评估其对区域水文地质条件的影响，避免次生环境问题。结合《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.2—2019）和《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715-2020），强调工程设计需考虑水文地质条件的影响。

(5) 竖向阻隔工程设计内容应包括平面布置、屏障厚度、屏障深度。

【说明】详细的设计内容有助于施工和后期维护，确保工程实施的可操作性和有效性。参考《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715-2020）和

《生活垃圾卫生填埋技术规范》（CJJ17-2004），规定了竖向阻隔工程设计的基本内容。

(6) 竖向阻隔材料应根据设计使用年限要求、场地特征、场地安全再利用要求、设计厚度、施工工艺等因素综合确定。

【说明】材料选择直接影响竖向阻隔屏障的性能和寿命，需综合考虑使用年限、场地特征和施工工艺等因素。结合《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715-2020）和《 生活垃圾卫生填埋技术规范》（CJJ17-2004），规定材料选择应综合考虑多种因素。

7.3.2 水平阻隔工程设计的说明

(1) 水平阻隔屏障和地面覆盖设计应考虑土地的最终利用类型，如污染场地再开发利用为公园绿地、停车场等情形，设计应与开发建设合理衔接。

【说明】不同的土地利用类型对水平阻隔屏障和地面覆盖有不同的要求，设计时需确保与未来开发建设合理衔接。参考《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.2-2019），强调设计需考虑土地的最终利用类型。

(2) 水平阻隔屏障和地面覆盖的范围应完全覆盖关注污染物浓度超过可接受风险值水平的区域，设计应充分考虑结构的完整性，确保阻隔层的边缘、嵌入位置、结合处的密封性。

【说明】确保覆盖范围和结构完整性是阻隔污染物扩散的关键，设计时需特别关注边缘和结合处的密封性。结合《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB 16889-2008），规定了水平阻隔屏障和地面覆盖的范围和密封性要求。

(3) 水平阻隔屏障和地面覆盖的设计使用年限应满足场地的用途要求。

【说明】不同用途的场地对水平阻隔屏障和地面覆盖的使用年限有不同要求，设计时需确保其在整个使用期内有效。参考《建设用地地下水污染修复和风险管控技术导则》（DB32/T 4611-2023），规定设计使用年限应与场地用途相匹配。

(4) 水平阻隔屏障和地面覆盖的设计需要考虑下覆土带来的控制层沉降、地震条件、冰冻深度、径流和腐蚀控制、地面坡度等因素。

【说明】设计时需综合考虑多种环境和工程因素，确保水平阻隔屏障和地面覆盖的长期稳定性和有效性。结合《生活垃圾卫生填埋技术规范》（CJJ17-

2004），规定了设计需考虑的多种因素。

(5) 水平阻隔屏障和地面覆盖应配套建设气体收集处理系统。

【说明】气体收集处理系统是防止有害气体积聚和扩散的关键，设计时需确保其与阻隔系统配套建设。参考《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB 16889-2008），规定了应配套建设气体收集处理系统。

(6) 水平阻隔屏和地面覆盖材料应根据设计使用年限要求、场地特征、场地安全再利用要求、施工工艺等因素综合确定。

【说明】材料选择直接影响水平阻隔屏障和地面覆盖的性能和寿命，需综合考虑使用年限、场地特征和施工工艺等因素。结合《生活垃圾卫生填埋技术规范》（CJJ17-2004）和《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715-2020），规定材料选择应综合考虑多种因素。

7.4 源头阻控工程施工及质量控制的说明

7.4.1 竖向阻隔工程施工及质量控制的说明

7.4.1.1 施工流程的说明

根据施工工艺确定施工流程，主要包括施工准备、修筑导墙、泥浆制备、沟槽开挖、泥浆护壁、回填料制备/土工膜安装、底部密封、回填、顶部覆盖、钻孔、冲洗孔、压水试验、下喷射管、提升、封孔、场地清理等流程的其中多环。

【说明】详细的施工流程确保施工的规范性和可操作性，减少施工过程中的不确定性和风险。参考《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715-2020）和《生活垃圾卫生填埋技术规范》（CJJ17-2004），结合阻隔管控工程经验，规定了竖向阻隔工程的施工流程。

7.4.1.2 施工准备的说明

(1) 施工准备阶段主要进行场地平面布置，确定施工机械类型、数量，确定施工材料数量等。

(2) 场地平面布置应根据施工组织设计进行，并根据工程建设位置校验平面布置，如有遗漏及时补充。

(3) 准备施工用水、用电、施工便道、排污系统等。

【说明】充分的施工准备工作是保证施工顺利进行的前提，确保施工现场

的各项资源和设施到位。结合《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.2-2019）和阻隔管控工程经验，强调施工准备工作的具体内容。

7.4.1.3 施工作业与质量控制

(1) 竖向阻隔施工前可根据场地地质条件确定是否修筑导墙。

(2) 泥浆制备材料采用优质膨润土和水质合格的拌合用水，定期检测膨润土的物理化学纯度、pH、静切力、细度等指标；拌合用水选用低硬度、近中性、低盐度的水源。

(3) 用于沟槽开挖的机械应配备垂直度仪和自动纠偏装置。

(4) 护壁泥浆应保持一定的循环率，保障槽内泥浆的质量。

(5) 回填料的渗透系数应小于10^{-7}cm/s。

(6) 回填施工时应保障和沟槽开挖作业面之间有足够的距离，避免回填料被重新开挖。

(7) 顶部覆盖层应采取必要措施，防止顶部回填料干缩开裂。

(8) 竖向阻隔工程施工完成后，多余泥浆和材料应妥善处理，防止产生二次污染。

【说明】严格的质量控制措施确保竖向阻隔工程的施工质量和防渗效果，避免施工过程中的质量问题和次生污染。参考《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715-2020）和《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB 16889-2008），结合阻隔管控工程经验，规定了竖向阻隔工程的施工作业和质量控制要求。

7.4.1.4 质量检验与验收的说明

【说明】(1) 施工单位在开工前应建立质量保障体系，制定质量检查制度等。

【说明】(2) 施工过程中，质检人员应对分部分项工程施工质量进行检查和控制。

【说明】(3) 采用现场注水试验、钻孔取芯进行室内试验、电法检测、监测井检测等手段综合判断竖向阻隔的防渗性能、墙体强度等指标是否达到质量要求。

【说明】通过多种检测手段综合判断阻隔工程的质量，确保其防渗性能和结构强度符合设计要求。结合《工业污染场地竖向阻隔技术规范》（HG/T 20715-2020），规定了竖向阻隔工程的质量检验和验收要求。

7.4.2 水平阻隔和地面覆盖工程施工及质量控制的说明

7.4.2.1 施工流程的说明

根据施工工艺确定施工流程，主要包括土壤层施工和各种防渗系统工程材料的施工。

【说明】明确的施工流程有助于规范施工操作，确保施工过程的顺利进行和工程质量。参考《生活垃圾卫生填埋技术规范》（CJJ17-2004），规定了水平阻隔和地面覆盖工程的施工流程。

7.4.2.2 施工准备的说明

施工准备阶段主要进行场地平面布置，确定施工机械类型、数量，确定施工材料数量等。

【说明】充分的施工准备工作是保证施工顺利进行的前提，确保施工现场的各项资源和设施到位。结合《建设用地土壤修复技术导则》（HJ 25.2-2019），强调施工准备工作的具体内容。

7.4.2.3 施工作业与质量控制的说明

(1) 土壤层应采用黏土或渗透系数不大于10^{-7}cm/s的其他类型土。

(2) HDPE膜材料在进场前应进行相关的性能检查，安装前应正确贮存，并应标明其在总平面图中的安装位置，铺设过程中必须进行搭接宽度和焊缝质量控制。

(3) 土工布应铺设平整，不得有石块、土块、水和过多灰尘进入土工布；土工布在边坡的铺设方向应与坡面一致。

(4) 钠基膨润土防水垫的贮存应防水、防潮、防曝晒，施工完成后应采取有效的保护措施。

【说明】严格的质量控制措施确保水平阻隔和地面覆盖工程的施工质量和防渗效果，避免施工过程中的质量问题。参考《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB 16889-2008），规定了水平阻隔和地面覆盖工程的施工作业和质量控制要求。

7.4.2.4 质量检验与验收的说明

(1) 水平阻隔和地面覆盖工程铺设的土工材料应焊接牢固，达到规定的强度和防渗漏要求，符合相应的质量验收规范。

(2) 水平阻隔和地面覆盖工程验收应进行观感检验和抽样检验，观感检验包括：土工材料标识清楚，表面无损伤，性能检测报告、质量合格证等资料齐全；抽样检验包括：水平阻隔和覆盖工程平整、密实、无裂缝、无松土、无积水，边坡及锚固平台质检过渡平缓，土工材料无破损、无漏接现象，联接情况良好，整体无渗漏。

【说明】通过观感检验和抽样检验综合判断水平阻隔和地面覆盖工程的质量，确保其防渗性能和结构强度符合设计要求。结合《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2—2019）、《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB 16889-2008 ）、《 生活垃圾卫生填埋技术规范》（CJJ17-2004）和水平阻隔管控工程经验，规定了水平阻隔和地面覆盖工程的质量检验和验收要求。

8 “协同阻控与修复措施”的编制说明

8.1 关于污染修复措施的“一般规定”说明

（1）污染修复措施应遵循技术成熟宜操作、修复目标可达、修复成本可控的原则。

（2）统筹考虑石油化工污染地块土壤和地下水多介质污染情况，选择适宜污染修复措施进行修复。

（3）应根据不同的石油化工污染地块污染特征及污染物性质、周边环境敏感目标、地块土壤理化性质、地块水文地质、地块拟规划用地类型、修复周期等条件，分析污染地块修复关键问题，结合可实现的修复目标，选择适应修复技术及修复施工工艺。

（4）在现有技术资料无法满足制定污染修复措施或地块存在不确定性条件时，可进行补充相应的技术资料。

（5）污染修复技术、施工工艺及污染修复过程所应用到的材料、设备等，应符合健康、安全、环保、绿色、低碳的要求，实施过程中应充分考虑二次污染控制。

（6）污染修复措施应制定全过程的环境管理计划及措施，实施污染修复全过程环境管理，实现污染地块修复风险可控。

（7）污染修复的设计、施工、验收及维护管控除符合本标准规定外，还应遵守国家现行的有关法律、法规、标准和行业规范的规定，符合国家和地方对工程质量、安全、消防等方面的强制性标准规定。

【说明】依据《污染地块地下水修复和管控技术导则》（HJ25.6-2019）、《建设用地地下水污染修复和风险管控技术导则》（DB32/T 4611-2023）等相关内容，从修复技术筛选、筛选技术所具备的基础数据及条件、施工过程应遵循的绿色、环保、节能等方面要求、修复施工工程应满足质量、消防、安全等方面的要求等，规定了石油化工污染场地采取修复措施进行修复时，所应该遵循的原则、规范以及要求。

8.2 “关于石油化工场地修复技术”说明

针对石油化工场地污染物特点及性质，适宜的污染修复技术有化学氧化技术、气相抽提技术、热脱附技术、资源化协同处置技术、安全填埋技术、抽出技术等；统筹考虑污染地块场地施工条件、施工周期、成本和环境风险等因素，筛选出不同污染地块针对性的适宜修复技术；并通过类似案例分析、修复技术小试、中试等试验验证，采用对比分析、矩阵评分等分析方法，评估不同修复技术的工程适应性和可行性，确定一种或者多种技术联合的修复措施。

【说明】依据《建设用地土壤污染状况调查技术导则》以及工程项目经验，石油化工场地的特征污染物一般为有机污染物；参考《污染场地修复技术目录》（第一批）（2014）以及工程实施经验，设定了石油化工场地常用的修复技术；参照《污染地块地下水修复和管控技术导则》（HJ25.6-2019），规定了特定石油化工场地确定修复技术的方法。

8.2.1 关于“化学氧化修复技术”说明

（1）化学氧化修复技术

化学氧化修复技术是通过添加药剂与污染介质混合，实现污染介质中的污染物与药剂接触，从而发生化学反应，达到降解污染物为无毒或者毒性小的物质。该技术可进行污染土壤和地下水的修复。

技术要求：

1）应在小试和中试过程中，确定污染地块化学氧化技术参数，包括但不限如下：药剂以及辅助药剂的类型、添加比例、反应时间、反应条件等。

2）化学氧化修复施工方法可选用异位修复、建井式注入修复、直推式注入修复、高压旋喷注入修复和原位搅拌注入修复；在修复方案中，明确各施工工法的施工工艺参数，如：异位修复混拌次数、原位注入影响半径以及注入频次和压力、流量等、注入速度等。

3）在采用化学氧化技术修复污染地下水时，修复设计应考虑地块内的地下水流场、水文地质条件等。

4）化学氧化修复污染介质时，应关注化学氧化过程中可能产生的次代产物以及其毒性。

【说明】石油化工场地同时存在污染土壤和地下水时，可采用化学氧化技术进行原位修复，如果只有土壤污染，亦可采用异位修复污染土壤。在进行石油化工场地化学氧化设计时，明确了化学氧化关键核心技术参数以及施工工艺参数。

8.2.2关于“气相/多相抽提技术”说明

（2）气相/多相抽提技术

通过真空泵/抽水泵方式，抽出土壤和地下水中的易挥发的污染物至地面，进行污染物分离和处置。该技术可进行污染土壤和地下水的修复。

技术要求：

1）气相/多相抽提技术适应于渗透系数范围10^{-5}~10^{-3}cm/s的污染地块的修复。

2）气相/多相抽提技术根据场地条件及污染深度，选择单泵系统和多泵系统。

3）气相/多相抽提除主体工程外，应包含尾气处置和废水处置工程，尾气和废水处置满足GB16297、GB8978或当地标准的要求；若施工过程中涉及到危险废物，则应按照危险废物处置相应规范进行处置。

4）在气相/多相抽提设计中，其技术参数应根据现场中试试验确定，对应的技术参数包括但不限于如下：抽提井的影响半径、抽提井的管径、抽提井的抽提速率和周期等。

5）气相/多相抽提施工过程中，应进行地块内及相邻范围的地下水监测，观察地下水污染物变化的同时，也应观测地下水流场变化和地面沉降情况。

【说明】参照《Engineering and Design Multi-Phase Extraction》、《污染场地修复技术目录》（第一批）（2014）以及工程实施经验，石油化工场地特征污染物为挥发性有机物时，可采用气相抽提技术修复，若场地地下水水位比较

浅，则可采用多相抽提技术，同时抽出地下水和土壤中污染物，在设计气相/多相抽提时，需明确气相/多相抽技术系统构成、关键核心参数，以及工程实施时，废气、废水、固体废物的处置规范要求。

8.2.3 关于“热脱附技术”说明

（3）热脱附技术

通过加热污染的介质，使介质中的污染物挥发而脱离处理，实现污染物分离的处置过程。该技术可进行污染土壤和地下水的修复。

技术要求：

1）热脱附系统包含热源系统、加热系统、废气收集及处理系统、废水收集及处理系统及其他辅助系统。

2）热脱附技术根据实施场景，分为原位热脱附技术和异位热脱附技术。

3）热脱附修复实施过程中，废水和废物处置应满足GB16297、GB8978或当地标准的要求；若施工过程中涉及到危险废物，应按照危险废物处置相应规范进行处置。

4）污染土壤原位热脱附修复工程的设计、施工、调试和运行维护的技术要求参考HJ1161-2021的相关规定。

5）污染土壤异位热脱附修复工程的设计、施工、调试和运行维护的技术要求参考HJ1164-2021的相关规定。

6）采用热脱附技术修复地下水过程中，应考虑建立止水帷幕，避免因地下水流动，产生能量损失。

【说明】参照《染场地修复技术目录》（第一批）（2014）以及工程实施经验石油化工污染场地，可采用热脱附技术进行场地修复。热脱附系统是由热源系统、加热系统、废气收集及处理系统、废水收集及处理系统及其他辅助系统等系统组合而成。设计热脱附技术时，应考虑废水、废物和固体废物满足相应规范。原位热脱附设计、施工等相关技术要求，参照HJ1161-2021的相关规定，根据施工经验，原位热脱附应进行止水帷幕建设，避免能量损失。异位热脱附吸附设计、施工等相关要求，参照HJ1164-2021的相关规定；根据施工经验，

8.2.4 关于“资源化协同处置技术”说明

资源化协同处置技术是指污染土壤作为建筑材料的原料，在满足入窑的条件后，按照一定的添加比例，入窑煅烧，生成建筑材料，实现污染土壤的资源化。此处的资源主要指水泥、陶粒和烧结砖等建筑材料。该技术可进行污染土壤的修复。

技术要求：

1）资源化协同处置不能因污染土壤的添加对产品的品质及使用产生不利影响。

2）资源化协同处置的污染土壤添加比例，应根据污染土壤的重金属含量、氟、氯、硫及土壤的含水率，综合确定。

3）资源化协同处置应配备完善的烟气处置系统和烟气在线监测设备，同时场地应具备一定容积储存条件，且储存条件应满足 GB 50016 的要求。

4）水泥窑协同处置应采用新型干法回转窑，且单线设计熟料生产规模不宜小于2000 吨/天。

5）陶粒窑协同处置的生产线年产量应不低于5万立方米/年。

6）烧结制砖协同处置应采用预热干燥、高温烧结一体的隧道窑，生产线年产量不低于6000万块/年。

【说明】石油化工污染场地，根据污染土壤的元素组成，可替代建筑原材料，经加工，生成建筑材料，实现污染土壤的资源化，即为资源化协同处置技术。参照《水泥窑协同处置固体废物环境包含技术规范》（HJ662-2013）、《污泥陶粒》（JC/T 2621-2021）、其他相应规范以及工程实施经验，规定了资源化协同处置所需具备的产能、设备型号以及协同处置单位应具备协同处置的资质和完善的废气、废水等处置配套设施。

8.2.5 关于阻隔填埋技术说明

阻隔填埋技术是指污染土壤离场处置，即将污染地块内的土壤挖出后，运输至由防渗阻隔材料组成的防渗填埋场进行填埋处置。该技术对污染土壤进行修复。

技术要求：

1）进行出场填埋的污染土壤应首先进行危险废物鉴别，根据危险废物鉴别类类别，进入相对应的填埋场填埋；填埋场的类别分为危险废物填埋场、一般工业固体废物填埋场和生活垃圾填埋场。

2)填埋处置的污染土壤应满足相对应类别的填埋场的入场要求，不满足要求的废物需经预处理后方能入填埋场。

3)污染土壤所运输车辆均为密封，运输方案需在主管部门进行备案。

【说明】参照国家生态环境部针对“污染土壤”等问题的答复，出场污染土壤需进行危险废物鉴别；根据《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB 18599）、危险废物填埋污染控制标准》（GB 18598）、《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB16889），污染土壤进入以上填埋场填埋时，需满足不同类型填埋物入场要求，不满足要求的废物需经预处理后方能入填埋场。

8.2.6 关于“抽出处理技术”说明

抽出处理技术是指通过井和泵，把污染地下水抽出至地面，利用地面处理设施处置。该技术可进行污染地下水的修复。

技术要求：

1）抽出处理技术适用于渗透系数大于10-5 cm/s的

2）污染地块。

2）抽出地面的污染地下水需要处置达到接受的标准，再进行利用；利用途径可回灌至地下，或者场地内利用，或排入市政管网。

3）抽出处理技术实施的工艺参数由场地内中试试验确定，工艺参数包含但不限于如下：抽出井的影响半径及井间距、抽出井的管径、抽出速率等。

4）抽出井可按照三角形、中轴线等排布方式进行设置，最优排布方式可通过地下水模拟软件模拟确定。

5）抽出处理应设置地下水监测井，监测地下水流场变化、地下水水质变化等，尤其是关注地下水流场的平衡，避免造成地面塌陷等地质问题。

6)避免因地下水水量平衡造成的地面塌陷等地质问题，可采取地下水回灌方式进行地下水流场平衡。

【说明】参照《污染地下水抽出-处理技术指南》（试行）和《染场地修复技术目录》（第一批）（2014），规定了抽出处理技术适合的石油化工污染场地条件，以及抽出处理技术需明确的技术参数和施工工艺参数；关注抽出处理时地下水水质和流场的变换以及地质问题。

8.3 污染修复施工说明

8.3.1 关于“工程实施流程”说明

污染修复工程施工流程如下：施工准备→施工作业→效果评估。

【说明】根据实际工程经验，石油化工污染场地修复工程实施一般分为三个阶段，分别是施工准备、修复施工作业、工程实施后的效果评估。

8.3.2 关于“施工准备”说明

1）进行施工场地平面布置，确定人、材、机、料等施工条件。

2）进行场地平整，建设临时设施、临时便道、排污系统及临水、临电、临气的接入等工作。

3）进行设备安装调试，满足施工作业条件。

4）确定作业人员，进行人员培训，完成技术交底工作。

【说明】石油化工污染场地修复工程，参照建设工程施工准备要求，结合实际工程经验，布设施工平面布置图，确定修复项目实施所必备的人、材、机、料等施工条件，搭建修复项目实施所需要的临时设施、便道以及“临水、临电、临气”，进入设备安装调试，并进行相关的人员培训等工作。

8.3.3 关于“施工作业”说明

1）污染修复施工作业，应严格按照国家及当地生态环境部门和业主的管理要求，建立健全施工作业质量管理体系、健康管理体系和安全文明施工管理体系；明确管理机构职责；确保污染修复工程按质按时按量完成。

2）污染修复施工作业过程中，出现修复效果不能达到修复要求或者作业现场出现与前期技术资料不符合项时，需要及时与业主、监理方、当地生态环境部门报备及沟通，采取措施达到施工作业要求，如涉及到修复技术和工艺调整时，应进行重新论证和审核施工方案。

3）污染修复作业时，应做好二次污染防控措施和应急方案，通过公告、宣传单页等形式，确保周边居民知情权；如修复过程出现污染突发事件时，施工单位应及时启动应急预案，并报备业主、监理、当地生态环境部门等相关单位，采取措施消除影响，保证修复过程不对周边居民和环境造成影响。

4）其他施工作业要求，按照HJ25.6等相关标准执行。

【说明】石油化工污染场地修复项目施工作业，按照施工组织设计方案进行施工，具有施工作业组织机构及安全、质量、文明等相关的管理体系和制度，在满足相关法律法规的条件下，按质按量按时完成施工作业；同时，规定了如果修复效果没有达到修复目标时，应采取的措施和方法。

8.3.4 关于“效果评估”说明

1）污染修复施工应进行施工单位效果自评估和第三方单位效果评估。

2）效果评估技术要求按照HJ25.5执行，特别关注修复目标的达标情况、施工作业区是否存在潜在影响、施工作业是否对周边环境带来的影响。

【说明】石油化工污染场地修复效果评估是评估修复措施达到修复目标的评价方法。根据实际工程实施经验，修复效果评估分为施工单位效果自评估和第三方单位效果评估，具体执行可参照HJ25.5规定实施。

8.4 关于污染修复质量控制说明

（1）污染修复应建立完善的质量控制组织架构，层层分解，责任到人。

（2）污染修复应制定质量控制措施，按照施工环节，编制相对应得施工环节质量控制措施。

（3）污染修复施工过中，按照一定频率和规范要求对施工内容进行质量检验，检验类型分为常规检验、抽查检验及最终检验，检验方式包括实验室性能测试、现场对照、现场试验等。

（4）污染修复施工质量控制内容，按照HJ25.5的相关规定执行。

【说明】参照HJ25.5及实际修复工程经验，修复工程应严格把控施工质量，本文规定了施工质量控制模式、质量检验类型和质量控制内容。

9 “监测与监督”章节编制说明

9.1 关于“监测布点方案”

“7.1 监测布点方案”提出：**石油化工场地土壤和地下水监测范围以实际建成生产区域及周边为主，包括对照监测点、污染源监测点、污染扩散监测点。监测点布设遵循安全性原则，不得影响企业安全和正常生产**。

【说明】根据《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》（HJ 25.6-2019）、《地下水环境监测技术规范》（HJ 164-2020）等技术规范，石油化工场地土壤和地下水环境监测目的为监测场地污染物浓度变化趋势、是否存在污染扩散，应当重点监测场地污染源、污染扩散区域，同时布设监测对照点，对应将监测点分为污染源监测点、污染扩散监测点、对照监测点等 3 种类型。石化企业场地监测点布设位置应当避开地下管线、构筑物等，不得影响企业安全生产。。

“7.1.1 对照监测点”提出：**土壤和地下水对照监测点布设在场地边界范围外1km范围内的同一水文地质单元中，宜符合以下要求：a)对照监测点不少于2个；b)对照监测点最大限度地靠近企业而不受企业及周边污染源影响，布设企业外一定时间内未受外界扰动的全年主导上风向、地下水上游方向，可根据实际情况进行调整**。

【说明】参照《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》（HJ 25.2-2019 ）、《地下水环境监测技术规范》（HJ 164-2020）、《化工园区地下水环境状况调查评估技术方案》（土壤函〔2021〕10号）等技术规范，对照监测点应布设在场地同一水文地质单元中受到人为影响最小处，一般在场地外1km范围内布设。

“7.1.2 污染源监测点”提出：**石油化工场地土壤和地下水污染源监测点布设在企业内部，宜符合以下要求：a)石油化工场地参照HJ 164布设污染源监测点。其中属于土壤污染重点监管单位、地下水污染防治重点排污单位的，参照HJ 1209布设污染源监测点；其中开展修复治理、工程性管控措施或后期环境监管的，参照HJ 25.6布设污染源监测点；b)石油化工场地存在污染的，在污染源处及周边加密布设监测点位；c)根据石油化工企业特征污染物种类，宜在上述监测点中按一定比例增设土壤气监测点。**

【说明】石油化工污染场地在产的，应参照HJ 164、HJ 1209相关规定，尽可能在靠近污染源处布设监测点位，具备布点条件的，应当按照采样单位不大于6400m^2/个布设地下水监测点，按照采样单元面积不大于1600m^2/个布设土壤监测点，以确定污染程度；处于管控、修复或后期环境监管阶段的，参照HJ 25.6布设监测点。石油化工场地一般存在挥发性有机物污染，建议布设一定比例的土壤气监测点。

7.1.3 “污染扩散监测点”提出：**石油化工场地土壤和地下水污染扩散监测点布设在企业外，宜符合以下要求：a)石油化工场地参照HJ 164布设污染扩散监测点。其中属于土壤污染重点监管单位、地下水污染防治重点排污单位的，参照《工业企业周边土壤和地下水监测技术指南(试行)》布设污染扩散监测点；其中开展修复治理、工程性管控措施或后期环境监管的，参照HJ 25.6布设污**

染扩散监测点。b)石油化工场地特征污染已扩散至场地边界外的，布设污染扩散监测点不少于5个，其中沿地下水流向下游扇形区域不少于3个，在垂直于地下水流向两侧区域至少各布设1个。需要划定污染范围边界的，按照采样单元面积不大于1600m^2/个布设监测点；c)发现污染扩散可能对周边敏感受体产生影响的，应当在敏感受体可能受影响处布设监测点；d)根据石油化工企业特征污染物种类，宜在上述监测点中按一定比例增设土壤气监测点。

【说明】石油化工污染场地在产的，应参照《工业企业周边土壤和地下水监测技术指南(试行)》相关规定，在地块外污染可能扩散迁移区域布设监测点位；处于管控、修复或后期环境监管阶段的，参照HJ 25.6布设监测点。发现污染已扩散至场地边界外的，沿着地下水流向，在两侧和下游布设污染扩散监测点，可参照《地下水环境状况调查评价工作指南》布设。发现场地污染可能对周边敏感受体产生影响的，在敏感受体处布设监测点，确定是否对敏感受体造成影响。石油化工场地一般存在挥发性有机物污染，建议布设一定比例的土壤气监测点。

9.2 关于“采样方案”的说明

“7.2 采样方案”提出：**a)石油化工场地土壤和地下水监测以浅层地下水及其赋存地层为主，钻孔深度以揭露潜水含水层且不穿透潜水含水层隔水底板为准；若潜水含水层以下地层存在污染的可能，在做好分层止水的情况下，钻穿隔水板采集更深层的土壤和地下水样品。b)土壤和地下水采样方案制定宜参照HJ 25.1、HJ 25.2、HJ 164、HJ 166、HJ 1019的相关规定。c)土壤气采样方案制定宜参照《建设用地土壤污染修复目标值制定指南（试行）》相关规定。d)地表水采样方案制定宜参照HJ 91.2的相关规定执行。**

【说明】石油化工场地污染一般以LNAPLs污染物为主，因此主要关注潜水含水层污染；发现污染严重时，应当采集深层含水层样品，判断是否对下层含水层造成影响。土壤、土壤气、地下水和地表水采样方案分别按照相应技术导则制定。

9.3 关于“分析方案”的说明

7.3.1 “土壤样品检测分析项目”提出：**a)GB 36600-2018中表1的污染物项目、**

pH、石油烃（C_{10}-C_{40}）；b)HJ 164附录F中对应行业类别污染物；c)企业特征污染物。

7.3.2 “地下水样品分析检测项目”提出：a)GB/T 14848-2017表1中“感官性状及一般化学指标（除放射性和微生物指标外）”；b)HJ 164附录F中对应行业类别污染物；c)GB 36600-2018中表1的污染物项目、石油烃（C_{10}-C_{40}）；d)企业特征污染物。

7.3.3 “土壤气样品检测分析项目”提出：土壤气样品一般可采用便携式检测设备进行监测。对于监测结果异常的，宜送实验室进行定量检测，检测分析项目包括但不限于：a)GB 36600-2018中表1的污染物项目；b)企业特征污染物。

7.3.4 “地表水样品检测分析项目”提出：地表水检测分析项目同地下水样品检测分析项目一致，并包括GB 3838-2002中表1项目。

7.3.5 “底泥样品检测分析项目”提出：底泥样品检测分析项目同土壤样品检测分析项目一致。

【说明】石油化工场地土壤和地下水监测项目参照HJ 25.2、HJ 164、GB 36600、GB/T 14848等相关技术导则，应当至少包括HJ 164附录F中对应行业类别污染物、企业特征污染物以及其他基本监测项目。石油化工场地特征污染物以挥发性有机气体污染物为主，可采用PID、气相色谱仪等快速监测设备对土壤气进行日常监测，发现异常的，送实验室定量检测。

9.4 关于“监测频率”的说明

7.4“监测频率”提出：**石油化工场地土壤和地下水最低监测频次参照下表执行，可根据实际情况提高监测频次，具体包括但不限于：a)土壤中存在挥发性有机物的，土壤气监测频次在第二、三季度提升至1次/月，在第一、四季度提升至1次/季度；b)地下水中存在易迁移或挥发性有机物的，地下水监测频次提升至1次/季度；c)发现地下水水温、水位、浊度等突然异常的，立即在异常处开展地下水环境监测；d)存在特征污染物监测值发现存在超标的、监测值高于前次监测值30%以上的、以及监测值连续3次及以上呈上升趋势等异常情况的，地下水监测频率提升为1次/月，直至异常情况消失。**

表 1 石油化工场地污染监测的最低监测频次

监测对象	监测频次
土壤	1次/1年
地下水	2次/1年（可采用地下水在线监测装置加大地下水监测频次）
土壤气	1次/1年（可采用便携式设备加大土壤气监测频次）

【说明】根据HJ 25.6、HJ 164、HJ 1209等相关技术导则，确定石油化工场地土壤和地下水的最低监测频次，夏季挥发性有机污染物易于挥发，在二、三季度提升土壤气监测频率。地下水中存在六价铬、石油烃（C_{10}-C_{40}）等易迁移污染物的，提升地下水监测频率。地下水水位、水温等便于实时测量，发生异常时，应当立即监测。对于长期监测发现监测结果异常的，应当提升监测频率。

9.5 关于“运行维护”的说明

7.5“运行维护“提出：**地下水和土壤气监测点宜为长期监测点，宜参照HJ 164定期开展维护。**

【说明】HJ 164提出地下水长期监测设施运行维护要求，土壤气长期监测井保护和维护可参照HJ 164开展。