

附件 3

《污染地块风险管控与修复 效果评估技术导则 (征求意见稿)》

编制说明

《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》编制组

二〇一八年九月

编制说明概要

为落实《土壤污染防治行动计划》“健全土壤污染防治相关标准和技术规范”的要求，土壤司、科技司委托北京市环境保护科学研究院等单位制定了《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则（征求意见稿）》。现将有关技术要点说明如下：

一、关于标准名称及政策依据

（一）名称

根据环境保护部办公厅于 2015 年 3 月 9 日下发的《关于开展 2015 年度国家环境保护标准项目实施工作的通知》（环办函〔2015〕329 号），批准由北京市环境保护科学研究院承担“污染场地修复验收技术导则”的制修订任务，项目统一编号：2015-42。

根据《土壤污染防治行动计划》（简称《土十条》）、《土壤污染防治法》（以下简称《土壤法》）、《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（原环境保护部令第 42 号）有关专业用语与相关要求，标准名称修改为《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》。

（二）政策依据

1、《土十条》要求：强化治理与修复工程监管。工程完工后，责任单位要委托第三方机构对治理与修复效果进行评估。

2、《土壤法》规定：风险管控、修复活动完成后，应当另行委托有关单位对风险管控效果、修复效果进行评估。省级生态环境主管部门应当会同自然资源等主管部门对风险管控效果评估报告、修复效果评估报告组织评审，及时将达到土壤污染风险评估报告确定的风险管控、修复目标且可以安全利用的地块移出建设用地土壤污染风险管控和修复名录。

3、《污染地块土壤环境管理办法（试行）》规定：治理与修复工程完工后，应当委托第三方机构按照国家有关环境标准和技术规范，开展治理与修复效果评估，编制治理与修复效果评估报告。治理与修复效果评估报告应当包括治理与修复工程概况、环境保护措施落实情况、治理与修复效果监测结果、评估结论及后续监测建议等内容。

二、编制过程

2015 年 4 月，北京市环境保护科学研究院接到标准编制任务后成立编制组，系统调研了美国、英国、加拿大、澳大利亚、新西兰等发达国家与国内相关标准和文献，编制“污染场地修复验收技术导则”开题论证报告与标准草案。2015 年 12 月，通过项目开题论证会。2016 年 11 月，编制完成《污染场地修复验收技术导则（征求意见稿草案）》。2016 年 12 月-2018 年 8 月，组织召开专家咨询会和内部讨论会 10 余次，并选择 4 个典型污染地块修复项目开展修复效果评估方法可行性验证，对标准进一步完善，形成《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则（征求意见稿草案）》及编制说明。

三、国内外相关标准情况

（一）国内污染地块修复效果评估技术导则情况

在国家层面上，原环境保护部发布《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2—2014）对场地修复的监测与效果评估提出了一些要求，包括污染土壤清挖效果的监测、污染土壤治理修复的监测、污染场地修复工程验收监测点位的布设等。原环境保护部 2014 发布《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》，其中“修复验收与后期管理”章节对场地修复验收的工作程序、关键技术要点等进行了规定。

在地方层面，北京市、上海市、重庆市、浙江省、广东省分别发布了各省市的污染地块修复效果评估技术规范或指南。

需要指出的是：北京市《污染场地修复验收技术规范》（DB11/T783-2011）发布时间较早，国家和其他地方制定相关导则时，均参考了北京的导则。

（二）国外污染地块修复效果评估技术导则情况

国外发达国家在污染场地修复验收方面已经开展了多年的研究和实践。

美国环保局在 1990 年前后分别发布了《场地清理达标评估方法卷 1: 土壤 固废》《场地清理达标评估方法卷 2: 地下水》，认为除非对是否达到该地块的清理标准进行了验证，否则，不能认为污染地块的修复已经完成。在合理选择和应用下，统计检验是验证是否达到清理标准的一个有力工具。上述指南阐述了如何应用统计检验评估是否达到清理标准。其中，关于布点和采样的数据数量和质量很关键，达到相应的数据数量和质量要求后，才可进行统计检验方法。否则，需要

进一步布点和采样分析。

美国关于利用统计学进行验证的理念为不少国家所接受。如新西兰 2011 年修订的《污染地块管理指南 No.1 新西兰污染地块报告》指出：应当使用统计方法分析并确认修复后的地块符合修复行动计划中确定的清理标准。

英国环保局 2010 年发布《污染地块修复验证》，认为验证计划应当是修复战略的重要组成部分，制定修复战略的同时，就应当同步制定验证计划。验证计划是符合特定的一套目标和标准的采样和监测计划。该文件指出：应当根据修复战略确定验证需求，即要验证什么。其中几个要点有：确定关注的污染物；确定监测/采样的时机；监测/采样的地点、方式和介质；监测、采样的持续时间和频率；采样的数量；质量保障和质量控制措施；确定长期监测和维护的必要性。

四、定位及适用范围

本技术导则定位为：通过资料回顾与现场踏勘、现场采样和实验室检测，综合评估地块风险管控和修复是否达到预期效果或修复后地块风险是否达到可接受水平。

本技术导则适用于污染地块土壤异位修复和原位修复、地下水抽出处理和原位修复、以及风险管控效果的评估。

本标准不适用于含有放射性物质与致病性生物污染地块污染治理与修复效果的评估。

五、技术路线和方法

在明确我国污染地块管理模式和修复效果评估定位的基础上，调研国外发达国家相关技术内容，结合我国修复工程实施情况，初步构建我国污染地块风险管控与修复效果评估的工作程序，明确和细化效果评估的技术要点，包括采样节点、布点数量、布点位置、采样频次、达标判断及统计分析等。考虑到土壤修复、地下水修复及风险管控等效果评估的技术要点有所不同，本标准分章节分别进行规定。

在标准制订过程中积极开展专家论证和咨询会，征求管理部门、相关单位、行业专家的意见，并选择典型污染地块开展治理与修复效果评估，梳理总结实施过程中存在的问题，对标准进行修改和逐步完善。

六、地块修复概念模型

本技术导则要求在效果评估前，应当建立地块修复概念模型，这是制定修复效果评估布点和采样方案的基础。地块修复概念模型应当根据掌握的最新的地块信息不断完善。

概念模型一般应当包括：污染物情况（污染物浓度、毒性和迁移性、二次污染物和中间产物的产生情况等）、水文地质情况（地层结构、地下水埋深、地下水流向等）、地球化学参数（含氧量、硫酸盐含量、铁含量等）、地块修复概况（修复起始时间、修复设施技术参数及其运行优化情况、运行过程监测数据、修复过程中废水和废气排放数据、药剂添加量等）、风险受体与周边环境情况。

七、关于效果评估的监测/检测指标与评估标准

（一）监测/检测指标

检测指标一般为地块修复的目标污染物；化学氧化/还原修复、微生物修复后土壤的检测指标应包括产生的二次污染物，必要时可增加土壤与地下水常规指标。

对于采取阻隔填埋、地下水阻隔墙等风险管控措施的，还应当检测工程性能指标，如阻隔性能、渗透性能等。

（二）评估标准

修复效果评估标准值原则上为地块调查评估与修复方案中确定的污染物的修复目标值，若土壤暴露情景有变，应根据实际情况调整效果评估标准值。化学氧化/还原修复、微生物修复潜在二次产物的评估标准值可参照 GB 36600 中一类用地筛选值执行，也可根据暴露情景确定其评估标准值。

对于采取阻隔填埋、地下水阻隔墙等风险管控措施的，评估标准为：工程性能指标应满足设计要求或不影响预期效果、下游地下水中污染物浓度应保持稳定、固化/稳定化后土壤中污染物的浸出浓度应达到接收地地下水使用功能对应标准值。

八、关于效果评估中土壤监测的布点数量

土壤污染分布具有不均匀性。不同修复方式对污染物的去除率、修复的均一性也存在差异。

对于污染地块修复效果评估，无论如何加密布点和采样，布点数量终究是有限的，无限制地加密布点既无必要，也不现实。

因此，效果评估中，采样布点的本质是合理抽取样本，通过样本来科学推断总体的情况，即要应用统计学的理论设计布点数量并进行统计验证。

鉴于统计方法需要较多的背景数据、且技术要求较高，考虑可操作性，本技术导则参考美国等发达国家相关指南中常用的统计分析方法和常用的推荐布点数量，结合国内多年的实践经验，并考虑不同类型修复方式的差异性，分类型推荐了采样布点数量。

九、土壤修复效果统计分析

修复效果评估应从地块总体上评估污染状况。而传统的逐一比对，要求逐点达标的方法相对保守，可能会导致过度修复。统计方法可以客观地处理土壤中污染物浓度分布的不均匀性，提供定量的、基于数据分布的决策。尽管统计方法不能保证所有的决策都正确，但可以将决策错误率限制在决策者可接受的范围内。

汲取国外成熟经验，特别是统计分析方法的应用，本技术导则规定了不同达标判断方法的适用条件：当样品数量少于 8 个时，须将样品的检测值与评估标准值逐个对比；当样品数量大于等于 8 个时，可采用统计分析方法进行修复效果评估，一般采用样品均值的 95%置信上限与修复效果评估标准值进行比较。

“95%置信上限”值的内涵是：场地污染浓度的真实平均值等于或低于该值的概率为 95%，一般用来反映场地污染的总体水平。

十、地下水稳定达标

近年来研究与实际均表明，地下水修复多存在反弹或可逆现象。因此修复效果评估时，关于地下水采样时间节点是一个关键问题，通常，应在修复效果达到稳定状态时，进行采样才具有科学性。

参考美国经验，本技术导则规定：关于地下水修复效果评估，需初步判断地下水到达修复目标且达到稳定状态时，方可开始修复效果评估阶段采样，并给出了地下水稳定状态的判断依据。

十一、地下水修复极限和残留污染物风险

国内外地下水修复经验表明，虽然修复一开始能使污染物浓度快速降低，但是当修复活动进入拖尾期后，消耗再多的时间和资源，仍存在难以达到相应标准的情况。

鉴于此，美国地下水修复管理中，针对修复技术不能达到修复目标的情况，

在充分论证说明地块达到修复极限的情况下，允许实施控制措施并开展残留污染物风险评估，若残留污染物对未来受体和环境产生的风险可接受，则判断地块可达到修复效果评估要求。这样既保护了人体健康和环境安全，同时又减少了不必要的经济浪费。

本技术导则借鉴美国经验，规定相关内容。

十二、后期环境管理与监测

落实《污染地块土壤环境管理办法（试行）》关于治理与修复效果评估报告应当后续监测建议等内容的规定，并借鉴英国等发达国家经验，本技术导则规定了后续环境管理建议的内容。

本技术导则明确：对于修复后土壤或地下水中污染物浓度未达到 GB 36600 第一类用地筛选值和 GB/T 14848 中的 III 类标准值的情况，均需关注地块的长期风险，开展后期环境管理。后期环境管理的方式一般包括长期环境监测与制度控制，两种方式可结合使用。一般通过设置地下水监测井或土壤气监测井进行长期环境监测。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等方式。

十三、本技术导则与地方导则的关系

本技术导则制定过程中，充分调研了地方导则的使用情况，对于在实施过程中得到公认的基本技术要求进行了明确、对尚存疑问的重要技术要点进行了梳理、对于较为棘手的关键技术要点进行了补充。

从本技术导则与各地方导则的比较来看，修复效果评估的定位一致，工作程序更加完善，修复效果评估对象、布点方法、检测指标等技术要点更加清晰，本技术导则增加了地块修复概念模型、修复极限、残留污染物风险评估、以及后期环境管理的内容和技术要求。

目 录

1	项目背景.....	- 1 -
1.1	任务来源.....	- 1 -
1.2	工作过程.....	- 1 -
1.3	关于标准名称的修改.....	- 2 -
2	标准编制的必要性分析.....	- 2 -
3	国内外相关标准情况.....	- 5 -
3.1	国外相关标准.....	- 5 -
3.1.1	美国及各州.....	- 5 -
3.1.2	加拿大.....	- 10 -
3.1.3	英国.....	- 10 -
3.1.4	澳大利亚.....	- 10 -
3.1.5	新西兰.....	- 11 -
3.2	国内相关标准.....	- 12 -
3.2.1	行业标准与指南.....	- 12 -
3.2.2	地方标准与指南.....	- 13 -
4	污染地块修复工程概况.....	- 14 -
4.1	国外修复工程实施情况.....	- 14 -
4.2	国内修复工程实施情况.....	- 14 -
4.3	国内修复效果评估现状.....	- 15 -
5	标准编制的原则与技术路线.....	- 17 -
5.1	编制原则.....	- 17 -
5.2	编制依据.....	- 17 -
5.3	适用范围.....	- 17 -
5.4	技术路线.....	- 18 -
6	标准的层次结构.....	- 20 -
7	标准主要技术内容和依据.....	- 22 -
7.1	适用范围.....	- 22 -
7.2	规范性引用文件.....	- 22 -

7.3	术语和定义.....	- 22 -
7.4	总体工作程序.....	- 24 -
7.5	更新地块概念模型.....	- 24 -
7.5.1	总体要求.....	- 24 -
7.5.2	资料回顾.....	- 25 -
7.5.3	现场踏勘.....	- 25 -
7.5.4	人员访谈.....	- 26 -
7.5.5	更新地块概念模型.....	- 26 -
7.6	土壤修复效果评估.....	- 28 -
7.6.1	土壤修复效果评估工作程序.....	- 28 -
7.6.2	基坑清理效果评估技术要点.....	- 35 -
7.6.3	异位修复效果评估技术要点.....	- 47 -
7.6.4	原位修复效果评估技术要点.....	- 56 -
7.6.5	现场采样与实验室检测.....	- 58 -
7.6.6	土壤修复效果达标判断.....	- 58 -
7.7	地下水修复效果评估.....	- 61 -
7.7.1	地下水修复效果评估工作程序.....	- 61 -
7.7.2	地下水修复效果评估技术要点.....	- 63 -
7.7.3	现场采样与实验室检测.....	- 70 -
7.7.4	地下水修复效果达标判断与评估.....	- 70 -
7.8	风险管控效果评估.....	- 78 -
7.8.1	主要内容.....	- 78 -
7.8.2	评估指标和标准.....	- 78 -
7.8.3	评估周期和频次.....	- 79 -
7.8.4	布点数量与位置.....	- 80 -
7.8.5	现场采样与实验室检测.....	- 80 -
7.8.6	风险管控效果评估.....	- 80 -
7.9	后期环境监管建议.....	- 81 -
7.9.1	后期环境监管要求.....	- 81 -
7.9.2	长期环境监测.....	- 82 -
7.9.3	制度控制.....	- 83 -
7.10	报告编制.....	- 84 -
8	与国内外同类标准对比与分析.....	- 85 -
9	对实施本标准的建议.....	- 85 -

附录 1 与国内标准的对比分析.....	- 86 -
主要参考文献.....	- 92 -

表 目 录

表 6 1 污染地块风险管控与修复效果评估技术要点.....	- 21 -
表 7 1 密歇根州基坑底部采样数量推荐.....	- 39 -
表 7 2 密歇根州基坑侧壁采样数量.....	- 39 -
表 7 3 密歇根州场地大小分类与网格间距推荐.....	- 40 -
表 7 4 怀俄明州基坑底部采样数量推荐.....	- 40 -
表 7 5 怀俄明州基坑侧壁采样数量推荐.....	- 40 -
表 7 6 安大略省地下储罐清理基坑最小采样数量.....	- 40 -
表 7 7 新西兰基于探测热点的最低采样数量推荐.....	- 41 -
表 7 8 基坑底部采样点数量——原环保部指南.....	- 42 -
表 7 9 基坑侧壁布点数量——原环保部指南.....	- 42 -
表 7 10 基坑底部采样点数量——北京市.....	- 42 -
表 7 11 基坑侧壁布点数量——北京市.....	- 42 -
表 7 12 基坑底部布点数量——上海市.....	- 43 -
表 7 13 基坑侧壁布点数量——上海市.....	- 43 -
表 7 14 基坑坑底采样数量——重庆市.....	- 43 -
表 7 15 基坑侧壁采样数量——重庆市.....	- 44 -
表 7 16 扰动或二次污染区域采样数量——重庆市.....	- 44 -
表 7 17 土壤清挖坑底表层采样点数量要求——浙江省.....	- 44 -
表 7 18 土壤清挖侧壁采样数量要求——浙江省.....	- 45 -
表 7 19 异位修复遗留基坑底部最少采样点数量——本标准.....	- 45 -
表 7 20 异位修复遗留基坑侧壁采样点数量——本标准.....	- 46 -
表 7 21 明尼苏达州堆体样品采集数量表.....	- 49 -
表 7 22 明尼苏达州土壤堆体的随机采样数量要求.....	- 49 -
表 7 23 新泽西州堆体样品采集数量推荐表.....	- 50 -
表 7 24 土壤原位修复采样点数量要求——浙江省.....	- 52 -
表 7 25 低风险结案判断方法.....	- 76 -

图 目 录

图 4 1 我国修复行业发展曲线.....	- 15 -
图 5 1 本标准编制的技术路线.....	- 19 -
图 6 1 本标准层次结构.....	- 20 -
图 7 1 本标准土壤修复效果评估工作程序.....	- 29 -
图 7 2 美国污染场地清理评估工作程序.....	- 30 -
图 7 3 加州填埋场清理验收工作流程.....	- 30 -
图 7 4 工业企业场地指南修复验收工作程序.....	- 31 -
图 7 5 北京市场地修复验收工作程序.....	- 31 -
图 7 6 上海市修复效果评估工作程序.....	- 32 -
图 7 7 重庆市场地治理修复验收工作程序.....	- 33 -
图 7 8 浙江省修复工程效果评估工作程序.....	- 34 -
图 7 9 广东省治理修复效果评估工作程序.....	- 35 -
图 7 10 异位清理遗留基坑照片.....	- 36 -
图 7 11 土壤修复潜在二次污染区域照片.....	- 36 -
图 7 12 修复效果评估采样介入节点示意图.....	- 37 -
图 7 13 基坑底部与侧壁布点示意图.....	- 38 -
图 7 14 异位修复后土壤堆体照片.....	- 48 -
图 7 15 修复效果评估采样介入节点示意图.....	- 48 -
图 7 16 修复后土壤堆体采样点位置示意图.....	- 53 -
图 7 17 修复效果薄弱区示意图.....	- 54 -
图 7 18 案例堆体底层监测点氧气浓度分布差异示意图.....	- 54 -
图 7 19 土壤原位修复效果评估对象示例.....	- 56 -
图 7 20 土壤气相抽提修复薄弱区示意图.....	- 57 -
图 7 21 美国地下水修复效果评估工作程序.....	- 62 -
图 7 25 本标准污染地块地下水修复效果评估工作程序.....	- 63 -
图 7 23 地下水抽出-处理修复的反弹现象.....	- 64 -
图 7 24 地下水修复实施过程污染物浓度变化示意图.....	- 65 -
图 7 25 地下水修复达标初判与修复效果评估阶段划分.....	- 66 -
图 7 26 地下水修复效果评估采样节点示意图.....	- 67 -
图 7 27 超级基金场地地下水修复路线图.....	- 73 -
图 7 28 加州低风险结案地下水污染羽分类.....	- 75 -
图 7 29 场地挥发性有机物污染概念模型.....	- 77 -
图 7 30 美国地下水控制措施实施过程.....	- 79 -
图 7 31 自然衰减长期监测示意图.....	- 82 -
图 7 32 场地中污染羽的变化示意图.....	- 83 -

1 项目背景

1.1 任务来源

根据原环境保护部办公厅于 2015 年 3 月 9 日下发的《关于开展 2015 年度国家环境保护标准项目实施工作的通知》（环办函〔2015〕329 号），批准由北京市环境保护科学研究院承担“污染场地修复验收技术导则”的制修订任务，项目统一编号：2015-42。

项目协作单位包括：北京市环境保护科学研究院、中国环境科学研究院、生态环境部固体废物与化学品管理技术中心、生态环境部环境规划院、沈阳环境科学研究院、南方科技大学工程技术创新中心（北京）。

1.2 工作过程

2015 年 4 月，开展标准制修订前期准备工作，成立标准编制组，系统调研了美国、英国、加拿大、澳大利亚、新西兰等发达国家与国内相关标准和文献，编制“污染场地修复验收技术导则”开题论证报告与标准草案。

2015 年 12 月 21 日，召开并顺利通过项目开题论证会。论证委员会听取了标准主编单位关于开题报告和标准草案的主要技术内容、编制工作过程的汇报，经质询、讨论，形成如下意见：“一、标准主编单位调研了国内外相关标准规范，前期工作基础较扎实；二、标准编制的技术路线科学合理；三、标准主编单位对标准的定位明确，满足场地环境管理要求。”论证委员会通过该标准的开题论证，提出的建议如下：“1、进一步结合国内案例开展调研工作，注意与场地环境管理要求的衔接；2、与《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2-2014）等进行衔接。”

2016 年 11 月，编制组编制完成“污染场地修复验收技术导则”征求意见稿（草案）以及编制说明（草案）。2016 年 12 月-2018 年 8 月，组织召开内部讨论会 10 余次，并结合多个污染地块修复效果评估案例，对标准进行逐步完善。

2017 年 4 月，根据污染地块管理要求与实际项目经验，增加修复后地块残留污染物风险评估内容，比不过根据相关管理文件，修改导则名称，完成“污染地块修复效果评估技术导则”征求意见稿（草案）以及编制说明（草案）。

2017 年 7 月，编制组组织专家咨询会，对本标准的定位、结构与关键技术问题进行了讨论和确定，进一步完善“污染地块修复效果评估技术导则”征求意见稿（草案）以及编制说明（草案）。

2018 年 8 月，对修改后的草案召开专家咨询会，进一步明确了导则的关键技术问题，编制组根据专家意见对本标准做了进一步的修改和完善。

2018 年 9 月，组织征求意见稿技术审查会，与会专家听取了征求意见稿的主要技术内容、编制工作过程汇报，经质询和讨论，认为标准主编单位提供的材料齐全、内容完整、格式规范；制订的标准具有科学性、适用性和可操作性。建议进一步加强与现有相关标准和法规的衔接与协调；进一步规范标准用词。编制组针对相关问题进行了修改，形成《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则（征求意见稿草案）》及编制说明。

1.3 关于标准名称的修改

根据《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（部令第 42 号）中专业用语与相关要求，“治理与修复工程完工后，土地使用权人应当委托第三方机构按照国家有关环境标准和技术规范，开展治理与修复效果评估，编制治理与修复效果评估报告，及时上传污染地块信息系统，并通过其网站等便于公众知晓的方式公开，公开时间不得少于两个月。治理与修复效果评估报告应当包括治理与修复工程概况、环境保护措施落实情况、治理与修复效果监测结果、评估结论及后续监测建议等内容。”编制组建议将题目修改为“污染地块风险管控与修复效果评估技术导则”。

2 标准编制的必要性分析

（1）建立污染地块相关技术支撑体系是我国开展污染地块环境管理工作的迫切需求。

随着我国产业结构调整的进一步深化、城市化进程的进一步加快，特别是“退二进三”政策的实施，大量位于城区的工业企业将面临关、停、并、转，其搬迁后的土地将进行再次的开发利用，根据国家的相关要求，遗留的污染地块将进行修复治理，目前污染地块的修复与再开发已经开始成为我国城市发展中普遍面临的问题。

为加强污染地块环境监督管理，原环境保护部于 2014 年发布《场地环境调查技术导则》（HJ 25.1—2014）、《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2—2014）、《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3—2014）、《污染场地土壤修复技术导则》（HJ 25.4—2014）、《污染场地术语》（HJ 682—2014）。这一系列导则涵盖了地块的调查、监测、评估和修复过程，随后原环保部不断提出新的标准和计划，进一步完善地块标准。

2016 年 5 月国务院印发的《土壤污染防治行动计划》明确规定，要“推进土壤污染立法，建立健全法规标准体系”，“系统构建标准体系。健全土壤污染防治相关标准和技术规范。

2017 年底前，发布农用地、建设用地土壤环境质量标准；完成土壤环境监测、调查评估、风险管控、治理与修复等技术规范以及环境影响评价技术导则制修订工作”。可见，建立健全我国污染地块相关标准体系是现阶段污染地块管理和技术工作的重点。

（2）污染地块风险管控与修复效果评估是地块环境管理的重要环节。

随着我国污染地块修复工程的逐步开展，如何对修复效果进行科学合理的验证和评估，保证地块风险达到相关规定和要求，成为污染地块工作的重要环节。

2005 年国家环保总局 27 号令《废弃危险化学品污染环境防治办法》第十四条规定“对污染场地完成环境恢复后，应当委托环境保护检测机构对恢复后的场地进行检测，并将检测报告报县级以上环境保护部门备案。”2013 年《近期土壤环境保护和综合治理工作安排》（国办发〔2013〕7 号）提出“经评估认定对人体健康有严重影响的污染地块，要采取措施防止污染扩散，治理达标前不得用于住宅开发。2012 年 11 月 26 日，原环境保护部等四部委联合发布了《关于保障工业企业场地再开发利用环境安全的通知》（环发[2012]140 号）要求“被污染场地治理修复完成，经检测达到环保要求后，该场地方可开发利用。”2014 年 5 月 14 日，环境保护部发布了《关于<加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作>的通知》（环发[2014]66 号）要求“确保工业企业原址污染场地再开发利用前环境风险得到有效控制。污染场地未经治理修复的，禁止开工建设与治理修复无关的任何项目。”

《土壤污染防治行动计划》中明确规定，“工程完工后，责任单位要委托第三方机构对治理与修复效果进行评估，结果向社会公开。”《污染地块土壤环境管理办法（试行）》中规定“治理与修复工程完工后，土地使用权人应当委托第三方机构按照国家有关环境标准和技术规范，开展治理与修复效果评估，编制治理与修复效果评估报告，及时上传污染地块信息系统，并通过其网站等便于公众知晓的方式公开，公开时间不得少于两个月。治理与修复效果评估报告应当包括治理与修复工程概况、环境保护措施落实情况、治理与修复效果监测结果、评估结论及后续监测建议等内容。”《土壤污染防治法》第六十五条规定“风险管控、修复活动完成后，土壤污染责任人应当另行委托有关单位对风险管控效果、修复效果进行评估，并将效果评估报告报地方人民政府生态环境主管部门备案。”可见，污染地块风险管控与修复效果评估是地块环境管理的重要环节。

（3）修复效果评估技术规范的修订是现阶段污染地块管理与修复工程开展的迫切需求。

随着国家相关污染地块环境管理通知和标准的发布，我国的污染地块修复产业发展迅速。2010 年从事地块调查与修复的企业不到 20 家，2013 年达到 370 余家，2015 年快速增加到 1000 余家。修复技术也从单一的阻隔、热脱附发展到多种技术组合联用。由于缺乏较

为完善的技术标准支撑，地块修复过程中遇到的问题也逐渐凸显出来。我国的污染地块修复产业进入快速发展期，相应的污染地块管理标准体系也在不断的制定与完善中，但是地块环境管理技术标准依然严重缺失。

《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2—2014）对场地修复的监测与效果评估提出了一些要求，但缺乏对修复效果评估系统性的规定，仍不足以支撑污染场地的修复效果评估工作。近年来，浙江、重庆、上海、广州均基于当地管理需要，发布了地方性的修复效果评估技术导则，并根据近年来修复技术的发展逐步完善修复效果评估方法，但国家层面上尚无相关导则。因此，非常有必要参考国外对污染地块风险管控与修复效果评估的经验，同时结合国内现有污染地块修复的成功案例，编制我国《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》，规范污染地块风险管控与修复效果评估的工作内容、工作程序、工作方法和关键技术问题，加强环境保护监督管理，防控污染地块环境风险，为开展提供风险管控与修复效果评估工作科学依据。

3 国内外相关标准情况

3.1 国外相关标准

国外发达国家在污染场地修复效果评估方面已经开展了多年的研究和实践,从场地关闭的原则和程序、布点的方法以及修复效果评价等方面制定了一系列较为完善的技术指南,可为我国污染地块风险管控与修复效果评估工作的开展和相关技术指南的制定提供丰富的资料和经验。

3.1.1 美国及各州

美国环保局及各州污染场地修复验收工作开始于20世纪90年代,其修复效果评估的标准体系较为完善,这对于我们修复效果评估工作的开展提供了很好的借鉴。

3.1.1.1 美国环保局 1996《场地清理达标评估方法——土壤、固废、地下水(卷1,2,3)》

美国环保局分别在1989年、1992年、1994年针对土壤和固体废物、地下水选定的统计方法的运用发布了三个指南。本指南是一个综述,本指南提出:只有充分的数据证明污染物残余浓度低于适当的修复目标值或限值,方可认为场地清理干净,并且统计方法对于推断的做出是重要的。本指南提出了达标评估的工作程序:

首先运用DQO(数据质量目标)制定工作计划,细化数据质量要求;在采样之后运用DQA(数据质量评估)程序来评估数据质量是否达到了DQO(数据质量目标)要求,如果未达到,需要更高质量的样本数据;若样本数据达到要求,可运用统计方法进行修复效果的判断。若统计方法表明已达到修复效果,则编制报告并阐述统计过程、结果等内容;如果统计方法表明未达到修复效果,可能需要补充采样来识别未达标区域,之后进行补充修复,如此循环。

3.1.1.2 美国环保局 1989《场地清理达标评估方法卷1:土壤和固废》

本指南主要提供了评估土壤修复是否成功的采样和分析方法,对什么样的采样和数据分析可以证明达标做出了解释。由于采样只能获取整体的部分样品来做决策从而造成的不确定性,本指南强调运用统计方法外推整个场地的状况。本指南中对于修复达标分为三项主要部分:第一是污染物水平或浓度可以达到保护人体健康和环境的目;第二采用适当的采样方法来评估修复后场地中污染物浓度高于还是低于修复目标值;第三是如何将检测结果与标准值进行对比来衡量和判断是否达标。这三个部分的要求必须都达到要求。

本指南规定了采样点位置的确定、检测结果的统计分析、验收效果的评价等技术要点,

具体就验收效果评价而言，阐述了采样数量计算方法与评估分析方法，包括将整体样本均值的95%置信上限与修复目标进行比较、统计低于修复目标值的样本比例等方法。

3.1.1.3 美国环保局 1992 《场地清理达标评估方法卷 2：地下水》

本指南主要针对地下水修复效果评估给出了工作程序和评估方法。提出在验收开始前，必须确定场区地下水流场已经恢复到天然状态，包括天然的水位和径流模式；采样和分析计划需要与选取的统计分析方法配合制定；并提出了对于异常值和未检出值的使用方法，以及采样频次。

地下水处于稳定状态主要依据统计分析、地下水模型、以及对本场地情况熟悉的水文地质学家的意见，需同时达到两方面要求：地下水水位、流量、季节变化等指标与修复活动开展前基本相同；若修复活动改变了地下水系统，则需要达到预期的稳定状态，且季节变化对修复活动的后续影响可忽略。污染物浓度的统计特征（均值、标准差）不随时间发生较大的波动。地下水稳定状态后的采样检测数据方可作为修复效果评估的依据。

3.1.1.4 美国环保局 1992 《场地清理达标评估方法卷 3：基于对照场地的土壤和固废》

本指南是针对对照场地验收的统计学方法，适用于存在合适的对照场地、对照场地不受场地污染的影响、对照场地的污染物浓度对人体或环境没有显著地风险、对照场地和污染场地不存在空间相关性等情况。

本指南提出必要时将场地分为“干净单元”并运用统计方法将每一个单元进行分析确认是否可以关闭，对于每一个单元，采样在三角等边网格采样，并对比了适用的统计方法，包括秩和检验、分位数检验和热测量。对于修复行动导致场地修复地块污染物浓度超标情形呈现空间不一致时，秩和检验比分位数检验有更强的功效，而当修复后场地只有几块小场地没有达标时，分位数检验比秩和检验的功效更强。秩和检验将对照区和修复地块的数值进行由小到大排序，并标记为序号，然后将修复地块的序号加和，计算统计量，然后与正态分布的关键值进行比较，如果统计量大于或等于关键值，那么判断修复地块没有达标。

3.1.1.5 美国固体废物和应急响应办公室 2011 《超级基金场地关闭程序》

本指南仅适用于国家优先治理污染场地顺序名单（NPL）中的场地。EPA认为政策和指南的一致性运用对于确保合理性、预见性和一致性是十分重要的，本指南主要描述了在超级基金清单场地关闭时候需要考虑的关键原则和目标，总结了超级基金场地关闭的关键节点：

修复设施完成（Remedial Action Completion）：指的是场地某个单元的修复设施完成，

对于源清理，要求达到修复目标；对于工程控制和地下水修复，要求修复设施达到操作性与功能性，对设施是否正常运行的观察期一般小于一年；

建设工程完成（Construction Completion）：指的是整个场地范围的建设工程完成；

场地完成（Site completion）：即场地修复已经达到修复目标，对人体和环境不产生风险；

场地删除和局部删除（Site Deletion and Partial Deletion）。

超级基金场地一般首先进行场地修复调查，以获得污染程度、修复标准、可能的修复技术筛选和修复费用预算等数据，再编制可行性研究报告；此后，进行修复工程的设计实施与运行维护；当修复场地达到修复标准后，一般还需进行5年的跟踪监测，确定稳定达标时，可将其从NPL 中删除。在整个修复期间，可将场地已稳定达标的部分区域或污染物提前从NPL 中删除。

3.1.1.6 美国密歇根州自然资源部 1994《修复效果验收指南》

本指南由美国密歇根州自然资源部发布，提供了土壤背景浓度、采样网格、统计分析、清理验收、原位和异位修复验收等一系列方法，本指南推荐的程序不是强制的，也可以用其他方法开展验收工作。本指南分为两个部分：

- Part 1（第一部分） 包括小场地（<0.25 acre）的验收，采用“biased”采样策略；
- Part 2（第二部分） 包括大场地（>0.25 acre）的验收，运用统计随机采样策略。

两种采样策略均为离散样品，不经过自然资源部允许在验收阶段不采集混合样。

本指南对采样方法、验收效果检验方法、低于检测限值样品的统计分析方法等，进行了详细的阐述，并根据采样区域面积和周长规定了修复范围内部和边缘的最低采样数量。

3.1.1.7 密歇根州环境质量部 2002《清理标准的抽样策略和统计培训材料》

本指南阐述了修复验收时基坑、原位、异位修复工程的采样布点数量的确定、采样网格的布置，并分析了各种统计方法在处理异常值、分析数据形态、统计推断中的应用。总体来说将从三个方面帮助决策：

- 统计分析是否适用？
- 可以统计得出能与目标值对比的代表性浓度的数据集是什么？
- 与目标值对比的适当的统计方法是什么？

3.1.1.8 美国密歇根州自然资源部 2006《地下水和土壤修复关闭验收指南》

Michigan DNR 2006《Groundwater and Soil Closure Verification Guidance》

本指南用于指导地下储罐场地管理时的地下水与土壤采样,也可以用来评估制度控制情况下的土壤和地下水风险。

对于地下水修复验收,本标准认为修复井中的地下水样品连续达标6个月,并且所有监测井连续两个季度达标,修复系统可关闭;修复关闭后需要根据场地水文地质情况,评估潜在毛细带污染、吸附解吸等可能造成的季节变化,因此修复井与监测井均需要开展季度采样,采样周期至少一年,所有监测井的数据都必须低于目标值才能证明场地修复达标。若样品出现超标情况,需要通知USTD部门评估是否需要重新启动修复。

对于原位生物修复和自然衰减的地下水验收,需要以下条件来验证其场地可关闭:

- 水平与垂直方向上的污染程度均已探明;
- 已经采集了足够的数据证明污染羽已经稳定、不再扩散;
- 场地历史数据证明在一个最小的季节性波动范围内污染物浓度逐渐降低,且考虑冬季生物活性;连续4个季度所有污染羽范围内的所有监测井均低于目标值,若场地资料充分,USTD部门允许情况下可以最少监测2个季度。

对于原位修复地下水采样——小场地与中型场地,主要参考1994《guidance document for verification of soil remediation》,本标准做了部分补充。其中对采样网格、采样数量均做了规定,对于采样位置,以下位置需要采集到:前期数据表明污染浓度高的区域、低渗透性或毛细带边缘。导则中一般采用95%UCL来评估是否达标,并给出了报告编制的要求。

3.1.1.9 美国安大略省 1996《安大略污染地点使用的抽样和分析方法指南》

本标准认为验收采样的目的是确认修复工程是否完成、是否清除掉所有的污染物。包括两种类型,一种是确认采样,是在修复阶段采样确保修复到预期程度,第二种是审计抽样。由于场地类型与修复方式各不相同,没有通用的程序。

对于基坑,除了VOC以外,其他污染物采集混合样较好。本标准规定了地下储罐清理基坑最小采样数量。

3.1.1.10 美国怀俄明州 2000 年《土壤取样确认指南》

美国怀俄明州环境质量部发布了土壤验收采样指南,对污染场地修复确认取样的方法、取样数量、样品保存及质量控制做出说明,并阐述了不同修复验收面积的修复效果评价方法。

指南除了对不同面积的场地规定采用不同的采样数量外,也采用不同的分析方法。对于面积小于等于10000平方英尺(930m²)的区域,采用逐个对比的方法,若有检测值超过修复目标值,则认为场地未达到修复标准,需要进行进一步修复和验收;对于面积大于10000平

方英尺（930m²）的区域，则采用统计分析方法，用整体均值的95%置信上限与修复目标比较，分析整个场地的修复效果，并提出在整体达标的情况下，允许一个或多个采样点的检测数据超过修复目标值。

3.1.1.11 新泽西州 2011《污染场地指南》

美国新泽西州发布了调查、修复和验收的土壤采样技术指南，指南中对于污染场地挖掘后的基坑、异位修复后的土壤堆体以及原位修复后的土壤在验收过程中的布点方案、采样数量提出了一些原则性的建议。

3.1.1.12 明尼苏达州 1998《基于风险的场地调查和抽样指导指南》

美国明尼苏达州污染控制局1998年发布了场地识别和采样导则草案。草案中对基于风险的场地评估、修复技术选择以及修复验收过程中样品的采集提出了一些指南和建议。其中，对污染场地采用异位修复挖掘后基坑底部、侧壁、土壤堆体、以及原位修复的采样数量均有明确的规定。

3.1.1.13 加州 2001 年《确认取样和分析计划》

2001年，美国加利福尼亚州规定了填埋场类场地验收采样方法，对于样本量和采样位置、验收布点方法和样品采集等方面做了详细的规定。方法主要来源于Michigan DEQ 2002《Sampling Strategies and Statistics Training Materials for Part 201 Cleanup Criteria》

3.1.1.14 新罕布什尔州 2004《污染场地关闭：业主指南》

本标准中的污染场地包括石油污染、危险废物泄露、地上或地下储罐泄露、危险废物场地、长时间无衬层的垃圾填埋场。

场地关闭目标：包括污染源必须被清除；地下水中污染物水平低于 AGQS（联邦和国家饮用水标准）、土壤直接接触风险被消除；影响区内的污染物浓度必须低于标准值。

场地关闭报告内容包括：依据地质情况、地下水动力学、污染源区域等，了解污染物分布及扩散情况，对场地概念模型进行全面梳理；污染源清理报告、土壤采样报告、储罐关闭报告；场地概况和调查报告；修复行动计划实施报告；检测结果。

场地是否采取下一步行动取决于所有的需求被充分解决、污染源被消除、地下水中污染物浓度达到地下水环境质量标准等指标。

3.1.2 加拿大

3.1.2.1 1999《联邦污染场地指南》

加拿大在 1999 年的场地管理流程中《A Federal Approach to Contaminated Sites》(1999) 中规定了修复后验收采样工作及其简单流程。

3.1.2.2 2012《联邦污染场地关闭指南》

本文件的目的是提供场地关闭的规范，文中认为以下情况场地可以关闭：通过评估确认场地不需要开展进一步修复工作、修复目标已经达到、长期监测标准已经达到，并规定了异位修复、原地异位修复、原位修复、风险管控等不同修复模式场地是否可关闭的要求。

3.1.3 英国

3.1.3.1 2004《污染场地管理程序》

本指南中明确规定了修复后效果验收的重要性，将验收定义为基于定量分析证明风险已经降低到修复标准和目标的过程。并对验收计划和验收报告做出了要求。

验收计划：收集数据来证实修复是否达到修复目标和标准的计划。

验收报告：提供修复行动的完整记录、以及验收过程收集的数据，以证明修复是否达到目标和标准。

3.1.3.2 2010《污染地块修复验证》

本指南主要是提供设计与实施效果评估行动，以提高修复效果评估可信度。验收过程包括四个阶段：

- 制定修复策略——制定验收计划是关键步骤，包括回顾修复期间的资料；
- 制定验收计划——包括识别角色、责任、抽样方法等；
- 实施验收计划；
- 必要时开展长期监测和维护。

本标准修复验收采样包括土壤、地下水、土壤气，分别给出了四个阶段的工作程序。

3.1.4 澳大利亚

3.1.4.1《地下石油储罐技术注意事项：场地验收报告》

本指南主要是对地下石油储罐（UPSS）退役、限制或清理之后、修复措施实施之后，是否符合开发要求、是否符合验收技术要求等做出了规定，对验收报告编制要求、验收注意

事项、数据质量目标、场地快速筛查等内容做了基本规定。

3.1.4.2 2011《污染场地咨询报告指南》

本标准的目的是对场地调查、修复、验收等文件进行规范，以助于管理。在验收阶段需要的文件包括两种：验收和必要时的监测报告。修复验收需要基于：原有污染程度、修复类型、场地用途。验收必须在统计意义上确认修复场地达到清理标准，具体见《Contaminated Sites Sampling Design Guidelines (NSW EPA 1995)》，以及《US EPA's Methods for Evaluating the Attainment of Cleanup Standards (1989)》。

3.1.5 新西兰

3.1.5.1 2011《污染场地管理指南卷1—场地报告》

该文献主要对新西兰污染场地管理涉及各阶段的报告编制做了统一性要求，主要包括：初步调查报告（PSI）、详细调查报告（SIR）、修复方案编制（RAP）、修复验收报告（SVR）、长期监测和管理计划（MMP）五个方面。在修复验收报告部分，对修复效果评估阶段的布点和长期监测提出了基本要求。

“P6: 2.4 Stage 4 – Site validation report”中提到，在治理和修复完成后，需要对场地状况进行评估来验证修复目标是否达到，更多的统计采样与评估方法参见澳大利亚新南威尔士州 the New South Wales Environment Protection Authority's Contaminated Sites: 《Sampling Design Guidelines (1995)》，也可使用美国《Methods for Evaluating the Attainment of Cleanup Standards (1989)》中提到的方法。这两个文献均阐述了统计学方法在布点数量和评估方法中的运用，其中澳大利亚新南威尔士州《Sampling Design Guidelines (1995)》中的方法也主要来自美国 EPA 的统计方法。“2.5 Stage 5 – Ongoing monitoring and management plan”中提到，修复效果达标后仍需拟定监测计划，确定监测位置和频次等内容。总结了验收报告编制需要包括的内容：

- a) 修复标准选择；
- b) 基于决策方法的统计分析；
- c) 验收采样和实验室检测；
- d) 对验收结果的统计分析以及与验收标准比较；
- e) 工程是否符合相关法律法规和技术规定的要求；
- f) 污染土壤治理和修复的证明文件。

3.1.5.2 2011 《污染场地管理指南卷5—— 场地土壤调查和分析》

该文献主要对全国污染场地调查做了统一性要求，包括场地调查的原则、土壤采样、实验室检测、数据分析。该文献认为修复验收是场地调查的主要过程之一，在布点、样品采集、评估方法方面做了简单要求。

“3.4.1 判断采样”中提到，修复验收过程一般不使用判断布点方法，可采用系统布点方法；“3.4.2 系统采样”中规定，系统布点适用于基坑采样和回填土采样。

附录 B 中，对于系统采样数量的计算方法，进行了说明，包括基于均值所需样本量和基于比例数所需样本量等，提到相关参数的具体计算方法可参阅 EPA 的导则。

3.2 国内相关标准

目前，国内关于污染场地调查、评价、修复和修复效果评估工作相继展开，相关研究工作逐步深入，相关技术规范也逐渐编制完善。在国家层面上，2014 年 2 月，原环境保护部发布了《场地环境调查技术导则》(HJ 25.1-2014)、《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)、《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3-2014)以及《污染场地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2014)，这些导则中对污染场地调查、监测、评价以及修复的原则、程序、工作内容和技术要求作了明确的规定。关于污染场地修复工程的效果评估，目前国家层面暂未出台相关的技术导则或规范，仅在《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)中，对于污染场地修复工程验收监测点位的布设作了原则性的规定。

3.2.1 行业标准与指南

3.2.1.1 原环保部 2014 《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2-2014）

《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2—2014）对场地修复的监测与效果评估提出了一些要求，包括污染土壤清挖效果的监测、污染土壤治理修复的监测、污染场地修复工程验收监测点位的布设等。

3.2.1.2 原环保部 2014 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》

本指南在“修复验收与后期管理”中对场地修复验收的工作程序、关键技术要点等进行了规定，主要在《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T 783-2011)的基础上，对原位修复效果评估布点、95%置信上限评估方法等进行了补充。

3.2.2 地方标准与指南

3.2.2.1 北京市 2011《污染场地修复验收技术规范》（DB11/T783-2011）

2011年，北京市在国内率先发布了第一个关于污染场地修复验收的技术规范-《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T 783-2011)，在规范中对污染场地修复验收的程序、范围以及土壤清理后基坑的布点要求、修复效果评价方法等方面作了规定。

3.2.2.2 上海市 2015《上海市污染场地修复工程验收技术规范》

2015年，上海市发布《上海市污染场地修复工程验收技术规范（试行）》，规定了上海市污染场地修复工程验收工作的基本原则、程序、内容和技术要求，制定了污染场地修复工程验收工作程序，与北京的效果评估（验收）技术规范在框架设计上基本相同，对部分流程进行细化。

3.2.2.3 重庆市 2016《重庆市污染场地治理修复验收技术导则》

重庆的效果评估技术规范也是基本沿用了北京技术规范框架和内容，增加了筛上物的采样等内容。

3.2.2.4 浙江省 2018《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》

本标准主要参考《场地环境调查技术导则（发布稿）》（HJ 25.1-2014）、《北京市污染场地修复验收技术规范》（DB11/T 783-2011）以及美国场地环境调查评估与修复相关导则，提出了浙江省污染地块治理修复工程效果评估技术规范框架，并根据风险管控和修复类项目的特点，综合考虑提出了资料整理与现场踏勘，明确评估对象、范围和时间段，制定效果评估工作方案、现场采样与实验室检测、治理修复效果评估、效果评估报告编制六个步骤。

3.2.2.5 广东省 2018《污染地块治理与修复效果评估技术指南》

本技术要点中主要参考国内已有的导则，提出修复效果评估方式、方法、布点、采样和检测项目的原则要求，导则中针对绿色修复，提出了能耗、水量消耗、固体废弃物产生量、废气排放量、修复成本、修复时长六个评估指标，以及相应的定量方法。

4 污染地块修复工程概况

4.1 国外修复工程实施情况

欧美国家土壤污染治理起步较早、体系较为完善，USEPA 定期对超级基金项目进行统计并出具年度报告，根据 2017 年发布的报告，统计了 1981-2014 年的数据。

根据报告数据分析，在土壤污染源修复中，原位修复中土壤气相抽提、化学修复与原位热修复出现的频次最高，异位修复中物理分离、再利用、和固化/稳定化出现频率最高，常见的污染物包括重金属、多环芳烃和挥发性有机物；异位修复中物理筛分应用频次最高，包括筛分、分选等，而固化/稳定化有所下降；另外，修复过程中的优化、修复技术组合等逐渐增加。1447 个超级基金场地中有 1218 个场地需要开展地下水修复，比例达到 84%，地下水修复中以原位化学氧化和原位厌氧生物处理、抽出-处理、监测性自然衰减为主，部分场地采用了帷幕灌浆等技术，其中抽出-处理逐渐降低，原位修复技术频次增加。生物修复多采用厌氧生物修复，部分采用好氧生物修复和生物强化技术，化学修复多采用原位化学氧化技术，部分场地采用监测性自然衰减。

可以看出，美国逐渐将风险管控与治理修复结合在一起使用，传统的修复技术例如地下水抽出-处理与土壤的固化/稳定化应用频次逐渐减少，制度控制逐渐作为修复后的一种补充措施进行运用。

4.2 国内修复工程实施情况

近年来，随着我国城市化进程的不断加剧，城市布局的调整，为改善城市环境质量，淘汰落后企业，许多工业企业逐步关停搬迁，大批污染地块涌现。根据国家的相关要求，遗留的污染场地需进行修复治理。目前，国内各个城市污染场地的治理工程相继开展。

根据《中国土壤修复技术与市场发展研究报告（2016~2020）》，土壤修复产业的生命周期可分为准备、起步、跃进和调整四个阶段，而我国目前正处于起步阶段。“十二五”期间我国土壤修复市场发展较为迅速，呈“V”字形上升。导致市场增长的内在驱动力包括政策的支持力度与市场作用，近几年相关文件出台的频率逐渐提高，同时安排专项资金进行市场激励，加之我国的新型城镇化和地产市场对土地的需求量大幅度上升，工业污染场地的修复和再利用，推动了该市场的增长速度。

目前根据统计，我国还是以异位修复技术为主。异位通风、生物堆、化学氧化还原技术最近几年发展比较快，原位修复、风险防控、绿色可持续修复等是场地修复的一个发展趋势。

生态环境部组织编制了《污染地块风险管控技术指南—阻隔技术（试行）（征求意见稿）》《污染地块修复技术指南—固化/稳定化技术（试行）（征求意见稿）》《铬污染地块风险管控技术指南（试行）（征求意见稿）》，并于 2017 年底征求意见。



图 4 1 我国修复行业发展曲线

4.3 国内修复效果评估现状

2014 年~2017 年，借助“污染场地修复工程监督与验收方法研究”公益项目，项目组分赴武汉、重庆、上海等地进行现场调研，通过现场踏勘、座谈会等方式，对当地典型污染场地的污染状况、修复施工、环境监管、修复验收等进行了系统的调研，结合由业主、修复方、监理方及验收方等各方参与的座谈讨论的结果，对当时污染场地修复工程验收存在的问题进行了总结分析；同时，编制组也通过项目实际经验，发现并总结出目前修复效果评估中存在的问题，具体表现在以下几个方面：

（1）修复效果评估的定位

修复效果评估的组织和管理过程中，存在修复效果评估定位不清的问题。近年来，关于污染地块修复效果评估的称谓，不仅各个地方存在差异，同一个地方不同项目上也存在不同。例如，有的地方成称为“修复效果自验收”，有的称为“第三方验收”，有的称为“区域阶段性验收”(主要与“竣工验收”相区分)。修复效果评估定位的不明确在一定程度上对污染场地造成困扰，一些地方出现修复效果评估单位的工作局限于采样检测与初步分析，并由另一个第三方将修复效果评估与工程监理和环境监理报告汇总称为修复效果评估报告的情况，不符

合 42 号令对修复效果评估应包含工作的要求。

(2) 效果评估对象和范围

关于污染地块修复效果评估的验收对象和范围，近年来以下几方面的争议：①是否需要修复过程中可能产生的二次污染区域进行采样。②若地块调查评估报告中认为场内的地下水未受污染，在原地异位修复效果评估过程中发现对地下水造成二次污染，是否需要地下水进行采样。③由于土壤的不均一性、风险评估过程以及划定修复范围时的不确定性，在污染土壤清挖或原位修复过程中，发现新的疑似污染区域，这部分污染区域如何进行验收。④原位修复可能导致原场地的水文地质条件以及目标污染物在场地内空间分布规律发生变化，由于污染物迁移可能会导致污染范围的扩大，这在修复验收过程中如何处理。

(3) 检测指标与标准

大部分污染地块修复验收过程中，检测指标均与该场地在风险评价报告中确定的修复目标污染物相同，未考虑二次产物；在确定场地的修复验收标准时，目前几乎所有污染地块修复验收的标准均为该场地在修复技术方案设计中确定的目标污染的修复目标值，事实上污染地块修复效果评估的标准，不仅仅取决于原修复场地的修复要求，而且还应结合修复后土壤的最终处置方式或再利用的要求。

(4) 布点方法和采样数量

在调研的几个城市的典型污染地块中，修复效果评估的布点方法和采样数量，基本上是在参考北京市《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T 783-2011)以及原环保部《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)基础上，结合场地的条件以及当地环境管理部门的要求确定的。布点方法和采样数量需要进一步的优化。

(5) 修复效果评估方法

通过调研发现，在调研的污染地块修复工程中，对于修复效果的评估，无论场地的规模、采样数量的多少，多采取逐点评价的方法对修复效果进行评估。这种评估方式较为单一，且可能会造成不必要的二次修复，评估方式有待进一步地科学化和合理化。

(6) 地下水修复效果评估相关问题

近年来，部分地区逐渐认识到地下水修复效果评估不应一次检测就结束，进行了多个批次的采样检测，但通过实际案例发现，往往在修复工程结束后就直接开始修复效果评估采样工作，而在采样检测过程中却逐渐发现污染物浓度反弹的现象，因此在何时才可以进入到修复效果评估阶段，成为现存的难题；并且部分地块已经面临地下水长期修复不能达标的问题，将持续进行修复以及修复到何时，成为地下水修复效果评估中的难题。

5 标准编制的原则与技术路线

5.1 编制原则

本技术导则编制主要遵从以下原则：

针对性原则：针对污染地块风险管控与修复效果评估工作，提出系统的修复效果评估工作程序和技术要求。

规范性原则：规范污染地块风险管控与修复效果评估工作程序和各项技术要求，增强具体工作过程开展的规范性和科学性。

可操作性原则：充分考虑国内污染地块管理政策，结合国内污染地块修复技术与修复实施现状，借鉴国外先进经验，细化各项技术方法，确保本技术指南的可操作性，便于实施与推广。

5.2 编制依据

- (1) 《中华人民共和国环境保护法》（2015 年）
- (2) 《中华人民共和国土壤污染防治法》（2018 年）
- (3) 《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》（2015 年）
- (4) 《中华人民共和国水污染防治法》（2008 年）
- (5) 《中华人民共和国大气污染防治法》（2015 年）
- (6) 《国务院关于印发土壤污染防治行动计划的通知（国发〔2016〕31 号）》
- (7) 《污染地块土壤环境管理办法》（部令第 42 号）
- (8) 《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166-2004）
- (9) 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》（2014.11）
- (10) 《场地环境调查技术导则》（HJ 25.1-2014）
- (11) 《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2-2014）
- (12) 《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3-2014）
- (13) 《污染场地土壤修复技术导则》（HJ 25.4-2014）

5.3 适用范围

本技术导则适用于污染地块土壤与地下水治理与修复效果的评估，不适用于涉及放射性污染地块的治理效果评估。

本技术导则的使用对象包括：

- (1) 开展污染地块风险管控与修复效果评估的技术人员；
- (2) 场地责任人及相关人员；
- (3) 污染地块修复工程实施单位技术人员；
- (4) 进行污染地块监督管理的环境保护主管部门工作人员；
- (5) 开展后期监测与管理的技术人员等其他相关人员。

5.4 技术路线

拟采用的技术路线如下。

(1) 调研国外污染地块管理相关政策、修复效果评估的工作流程和主要内容，收集国内现有的相关技术规范及修复工程效果评估案例，结合我国污染地块管理要求和修复工程特点，明确本标准的定位。

(2) 分析美国、欧盟等发达国家污染地块土壤清理基坑效果评估相关资料，研究国外统计布点的计算方法与推荐数量，结合国内现有相关技术规范及污染地块风险管控与修复效果评估经验和存在的问题，研究不同布点方法之间的差异以及适用条件，分析基坑坑底和侧壁布点方法，总结各种布点方法的适用性并进行布点优化方法研究，提出我国污染地块土壤清理基坑效果评估布点计算方法或推荐数量；

(3) 分析不同修复技术对污染物浓度分布的均一性等的影响，研究常用布点方法的适用条件、采样数量的计算、采样网格的布置、采样深度的确定等，梳理土壤原位修复与异位修复布点计算方法或推荐数量。

(4) 针对风险管控措施的特点，明确其效果评估的指标与标准。

(5) 研究效果评估方法的适用性、合理性和不确定性，研究显著性检验、置信上限等的适用条件，提出可靠合理的场地修复效果的评价方法。

(6) 考虑地下水修复效果评估中遇到的采样节点、采样频次等问题，汲取国外先进经验，基于我国污染地块管理要求，研究梳理其解决途径；

(7) 在标准制订过程中积极开展专家论证和咨询会，征求管理部门、相关单位、行业专家的意见对标准进行逐步修改和完善；严格遵守国家环境保护标准制修订工作管理办法中的要求，配备专业队伍，保障优质高效地完成标准制定全过程各项工作。

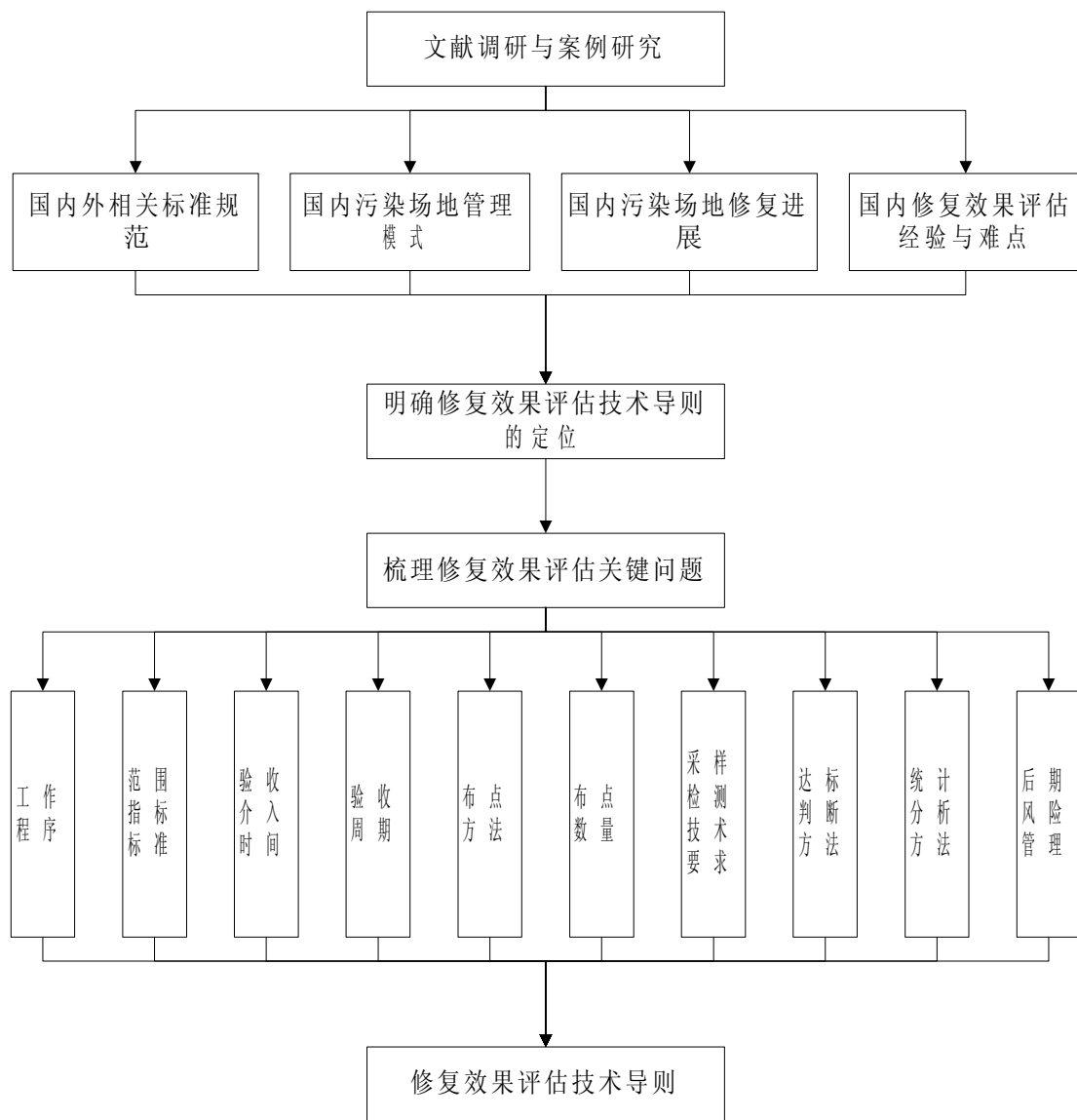


图 5 1 本标准编制的技术路线

6 标准的层次结构

鉴于国内外修复技术发展与应用现状，基于《场地环境监测技术导则》、北京市《污染场地修复验收技术规范》等相关技术规范的应用情况，考虑修复效果评估全过程的主要环节，本次导则制定过程中，对于在实施过程中得到公认的技术要求进行了明确、对尚存疑问的重要技术要点进行了梳理、同时充分了解行业现状对于较为棘手的技术环节提出了关键技术要求。

本标准编制采用标准的导则编制框架，在技术环节考虑到土壤修复效果、地下水修复效果、风险管控效果评估在工作程序、点位数量、效果评估等各方面技术要求的不同，在章节设置上将其分开，分别规定了评估范围与对象、采样节点、采样频次与周期、点位数量与位置、检测指标、评估标准值、评估方法等方面的具体要求，对于涉及到的技术性较强的内容以附录的形式给出。

具体章节设置见图 6-1。

目 次

前 言	ii
1 适用范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体工作程序	2
5 更新地块概念模型	3
6 土壤修复效果评估	5
7 地下水修复效果评估	10
8 风险管控效果评估	14
9 后期环境监管建议	15
10 编制效果评估报告	16
附录 A（资料性附录） 地块概念模型涉及信息及其作用	17
附录 B（资料性附录） 差变系数计算方法与查阅表	18
附录 C（资料性附录） t 检验方法与案例	19
附录 D（资料性附录） 污染物浓度趋势分析案例	21
附录 E（资料性附录） 效果评估报告提纲	25

图 6 1 本标准层次结构

表 6 1 污染地块风险管控与修复效果评估技术要点

内容	主要环节	一般技术要点	重要技术要点	关键技术要点
总体工作程序		★		
地块修复 概念模型	资料回顾	★		
	现场踏勘	★		
	人员访谈	★		
	建立修复概念模型			★
土壤修复效果 评估	评估范围与对象		★	
	采样节点			★
	采样频次与周期			★
	布点数量推荐		★	
	统计学布点计算		★	
	检测指标与评估标准值		★	
	达标判断			★★
地下水修复效果 评估	评估范围与对象		★	
	采样节点			★★
	采样频次与周期			★★
	布点数量推荐		★	
	统计学布点计算		★	
	检测指标与评估标准值		★	
	达标判断			★★
	修复极限			★★
	残留污染物风险评估			★★
风险管控效果评估	短期效果评估			★
	长期环境监测			★
现场采样与 实验室检测	现场采样	★		
	实验室检测	★		
后期环境 管理与监测	后期环境管理			★
	长期环境监测			★
报告编制要求		★		

7 标准主要技术内容和依据

7.1 适用范围

文本内容：

本标准规定了污染地块风险管控与修复效果评估的程序、方法和技术要求。

本标准适用于污染地块土壤异位修复和原位修复、地下水抽出处理和原位修复、以及风险管控效果的评估。

本标准不适用于含有放射性物质与致病性生物污染地块治理与修复效果的评估。

编制说明

结合我国污染地块管理模式与现有标准，本标准定位为“通过资料回顾与现场踏勘、现场采样和实验室检测，综合评估地块修复是否达到预期效果或修复后场地风险是否达到可接受水平。”因此主要规定了污染地块治理与修复效果评估的内容、程序、方法和技术要求，主要用于污染地块土壤和地下水治理与修复效果评估。

7.2 规范性引用文件

本标准内容引用了下列文件中的条款。凡是不注明日期的引用文件，其有效版本适用于本标准。

GB36600 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 地下水质量标准

GB/T 18772 生活垃圾卫生填埋场环境检测技术要求

HJ 25.1 污染场地环境调查技术导则

HJ 25.2 污染场地环境监测技术导则

HJ 25.3 污染场地风险评估技术导则

HJ 682 污染场地术语

7.3 术语和定义

本标准涉及术语 6 个，术语及其定义的依据如下：

文本内容：

【3.1 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环境具有实际或潜在不利影响的，需要进行修复的关注污染物。

编制说明

该术语沿用《污染场地术语》的定义。

文本内容：

【3.2 修复目标 remediation target】由地块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。

编制说明

沿用《污染场地术语》的定义。

文本内容：

【3.3 评估标准 assessment criteria】评估地块是否达到环境和健康安全的标准和准则，本标准所指评估标准包括目标污染物浓度是否达到修复目标值、二次污染物是否不产生风险、工程性能指标是否达到预期效果等准则。

编制说明

由于修复过程可能涉及二次产物等，因此在效果评估中涉及到的评估标准比修复目标更为广泛，总体上都是评估地块是否达到环境和健康安全的准则。

文本内容：

【3.4 风险管控与修复效果评估 verification of risk management, control and remediation】通过资料回顾与现场踏勘、现场采样和实验室检测，综合评估地块风险管控和修复是否达到预期效果或修复后地块风险是否达到可接受水平。

编制说明

根据我国与国外相关导则中有关修复效果评估、以及场地关闭对修复效果的要求等相关定义，并参考其他国家的相关定义：

美国在场地关闭环节，将修复效果评估定义为验证修复目标是否达到、不需要继续的管控或修复行为；加拿大在场地关闭环节，将场地关闭定义记录场地达到风险管控修复目标的行动；英国定义效果评估为一个定量评估场地风险已经达到修复目标和标准的过程。

中国《污染场地术语》（HJ 682-2014）：在污染场地修复工程完成后，对场地内土壤和地下水进行监测，以确定场地修复是否达标并总体评估修复效果的过程。

参考上述，并考虑到目前对于原位修复、风险管控等措施，修复效果评估在修复开始或修复过程中已经介入，本标准定义为“通过资料回顾与现场踏勘、现场采样和实验室检测，综合评估地块风险管控和修复是否达到预期效果或修复后地块风险是否达到可接受水平。”

文本内容：

【3.5 修复极限 remediation asymptotic】通过资料回顾与现场踏勘、现场采样和实验室检测，综合评估地块风险管控和修复是否达到预期效果或修复后地块风险是否达到可接受水平。

【3.6 残留污染物风险评估 residual contaminate risk assessment】达到修复极限后，基于地块概念模型评估残留污染物对人体以及环境产生的风险水平。

编制说明

大量修复项目，特别是地下水修复经验表明，虽然一开始修复能使其得到很大程度的改

善，但是当修复活动进入拖尾期后，再多时间和资源的消耗，都很难使残留污染物去除，土壤和地下水质往往难以达到相应的标准。另外，一些场地特别是石油泄露场地修复项目表明，石油烃能够通过吸附、解吸、稀释、挥发以及生物降解作用进行自然衰减，从而降低了污染羽的迁移，减小了对人类健康与环境的威胁。综合以上两点，鉴于地下水修复在技术和经济上的困难，同时考虑自然降解等功能，美国等国家部分管理部门制定了相应的低风险结案政策，地块治理和修复活动的目标是使土壤和地下水质量达到对人体健康与环境安全无影响的水平，而完全恢复到背景浓度或者相关质量标准，将依靠污染物的自然衰减作用。如此，既保护了人体健康和环境安全，同时又减少了不必要的经济浪费。

因此本标准将修复极限定义为治理与修复工程进入拖尾期后，继续开展治理与修复、消耗时间和资源，都难以使残留污染物去除，难以完全恢复到背景浓度或者相关质量标准的状态；而残留污染物风险评估则是基于地块治理修复后的概念模型，对仍存在的残余污染开展的风险评估，用以指导下一步的治理修复或风险管控策略。

7.4 总体工作程序

文本内容

【4 总体工作程序】污染地块风险管控与修复效果评估总体工作程序包括编制效果评估工作方案、更新地块概念模型、布点与采样、效果评估、提出后期环境监管建议、编制效果评估报告六个步骤。

编制说明

结合国外相关文件中的修复效果评估流程，以及我国实际修复工程开展的经验，本标准确定了我国污染地块风险管控与修复效果评估的总体工作程序。需要说明的是：由于土壤原位异位修复以及地下水修复的工作程序有不不同的地方，因此本章指的是总体工作程序，具体不同处见土壤与地下水修复效果评估工作方案的章节，在本章主要以文字的形式进行叙述。

7.5 更新地块概念模型

7.5.1 总体要求

文本内容

效果评估机构应收集与地块污染和地块修复相关的资料，开展现场踏勘工作，并通过与地块责任人、修复施工负责人、监理人员等进行沟通和访谈，了解污染地块调查评估结论、风险管控与修复工程实施情况、环境保护措施落实情况等，掌握地块水文地质条件、污染物空间分布、污染土壤去向、修复设施设置、修复过程监测数据等关键信息，构建风险管控与修复过程中的地块概念模型。

编制说明

本条主要说明建立场地概念模型的总体要求，具体方法见5.2~5.4。

7.5.2 资料回顾

文本内容

【5.2.1】资料回顾清单

在效果评估工作开展之前，应收集污染地块修复相关资料，资料清单主要包括

编制说明

修复效果评估阶段需要对地块前期资料进行详尽的了解，因此本节主要结合实际修复效果评估工作经验、以及国内已有的导则，将需要涉及的资料清单列出，包括：地块环境调查评估报告；地块修复技术方案；地块修复实施方案；施工过程中检测资料；地块修复工程监理报告或资料；地块修复环境监理报告或资料；相关合同协议（如委托处理污染土壤的相关文件和合同、实施方案变更协议等）；其他文件（环境管理组织机构、地块规划变更等）。

文本内容

【5.2.2】资料回顾要点

【5.2.2.1】资料回顾要点主要包括风险管控与修复工程概况和环保措施落实情况。

【5.2.2.2】风险管控与修复工程概况主要通过修复技术方案、实施方案、以及修复过程中的其他文件，了解修复范围、修复目标、修复工程设计、修复工程施工、修复起始时间、运输记录、运行监测数据等，了解风险管控与修复工程实施的具体情况。

【5.2.2.3】环保措施落实情况主要通过对环境监理数据、资料和报告的梳理，了解修复实施过程中废气、废水和废渣等的处理处置措施和处理情况，分析修复过程中的二次污染物排放是否达到相应的环境质量标准或排放标准，环境监理涉及的监督工作是否落实等。

编制说明

此处主要依据 42 号令的要求，分为治理与修复工程概况和环保措施落实情况进行梳理。

7.5.3 现场踏勘

文本内容

【5.3.1】应开展现场踏勘工作，了解污染地块风险管控与修复情况、环境保护措施落实情况，包括修复设施运行情况、修复工程施工进度、基坑清理情况、污染土暂存和外运情况、地块内临时道路使用情况、修复施工管理情况等。

【5.3.2】调查人员可通过照片、视频、录音、文字等方式，记录地块勘察情况。

编制说明

修复效果评估是对地块治理与修复情况的判断与分析，因此现场踏勘重点均围绕治理修复情况，在导则中细化了踏勘内容。

主要参考《场地环境调查技术导则》（HJ 25.1-2014）中 5.2.5 的规定“可通过对异常气

味的辨识、摄影和照相、现场笔记等方式初步判断场地污染的状况。踏勘期间，可以使用现场快速测定仪器。”基于修复效果评估的任务是评估治理修复的情况，因此主要采用照片、视频、录音、文字等方式，快速测定仪器可以根据情况选择性使用，在导则文本中不提及。

7.5.4 人员访谈

文本内容

【5.4.1】应开展人员访谈工作，对地块风险管控与修复情况、环境保护措施落实情况进行全面了解。

【5.4.2】访谈对象包括地块责任单位、地块调查单位、地块修复方案编制单位、工程监理单位、环境监理单位、修复施工单位等单位的参与人员。

编制说明

此处主要参考《场地环境调查技术导则》（HJ 25.1-2014）中 5.3 人员访谈的相关规定，结合修复效果评估的任务规定了访谈的内容与对象。

7.5.5 更新地块概念模型

文本内容

【5.5.1】在资料回顾、现场踏勘、人员访谈的基础上，掌握地块风险管控与修复工程情况，结合地块水文地质条件、污染物空间分布、修复技术特点、修复设施布局等，对地块概念模型进行更新，完善地块风险管控与修复实施后的概念模型。

编制说明

场地各阶段的概念模型极其重要，在场地调查评估阶段是污染来源分析与污染物分布结论必不可少的论据、在场地修复方案设计阶段是修复策略确定的依据、在修复实施阶段是修复是否可以按计划实施的关键要素，在修复效果评估阶段也尤其重要，特别是对于越来越多的原位修复工程。实际上，场地概念模型始终贯穿在各项工作中，而国内已发布的导则中仅《场地环境评价导则》（DB11/T 656-2009）明确对场地概念模型的建立进行了规定，本标准中基于其重要性、结合国外经验、考虑实际工作，明确提出需要建立修复概念模型。

在场地调查评估阶段，将综合描述场地污染源释放的污染物通过土壤、水、空气等环境截止，进入人体并对场地周边及场地未来居住、工作人群的健康产生影响的关系模型称为场地概念模型。在污染地块修复阶段，由于各场地水文地质条件的差异、修复模式的不同、目标污染物性质的不同等因素，使得修复过程具有各种类型的不确定性，从而对修复效果产生影响，因此在修复效果评估工作中，应根据资料回顾与现场勘察等工作，建立场地修复概念模型。

场地修复概念模型主要通过分析场地水文地质条件、污染物理化参数、污染物空间分布、潜在运移途径、修复目标、修复方式、修复过程监测数据等情况，以文字、图、表等方式，

表达场地地层分布、地下水埋深、流向、污染物空间分布特征、污染物迁移过程、迁移途径、污染物修复过程、污染土壤去向、受体暴露途径等，用以指导场地修复效果评估范围的确定、效果评估指标和标准值的确定、效果评估介入节点等关键问题。在效果评估开展过程中，可根据资料与数据的充实程度，不断完善场地概念模型，以助于科学合理评估场地修复效果。

文本内容

【5.5.2】地块概念模型一般包括下列信息 ...

编制说明

关于场地修复概念模型，在美国空军环境中心 2012 年《Low-Risk Site Closure Guidance Manual to Accelerate Closure of Conventional and Performance Based Contract Sites》中“3.1.1. Question I.1. Have all of the components of the CSM been evaluated?”中，对于场地修复后概念模型涉及的信息进行了汇总，一般包括下列信息：

- a) 场地信息：场地历史用途、现状、未来用途；
- b) 场地调查信息：调查数据、土壤钻孔、地球物理、地球化学、场地外受影响地下水、有无 NAPL 及其观察记录；
- c) 污染源特征：包括主要的（罐槽、管线、集水坑等）和次要的（NAPL、污染土等）污染源位置，污染途径（泄露、回填）、规模和边界、污染物、污染时间、污染规模、污染源控制方法；
- d) 关注污染物：化学成分、毒性、迁移性；二次污染物，中间产物；
- e) 污染范围：污染源浓度的水平和垂向分布；
- f) 水文地质情况：地层、毛细带、饱和带、含水层特征，渗透系数、水力梯度、孔隙度、隔水层土壤性质、含水层顶端埋深、地下水位、地下水流向、优先流路径、地下水与地表水的水力联系；
- g) 地球化学资料：含氧量、硝酸盐、硫酸盐、铁含量等地球化学参数；
- h) 迁移和暴露途径：地下水、地表水、土壤、大气、沉积物等迁移途径
- i) 污染物衰减途径：包括对流、扩散、化学和生物转化、吸附、稀释等；
- j) 受体：使用人群、生态受体、敏感受体（幼儿园、学校、居民、医院等）、现在和未来地下水和地表水资源、以及其他不利影响；
- k) 土壤修复资料：土壤修复起始时间、修复土方量、修复或清除的结果；
- l) 地下水修复资料：起始时间、修复技术、治理的结果等；
- m) 其他相关信息：包括监管机构、业主、用地规划、周边情况等相关资料。

本技术导则编制中，结合国内使用习惯将信息加以概括，并对各项具体内容在文本中进行了细化。

文本内容

【5.5.3】地块概念模型可用文字、图、表等方式表达，便于指导污染地块风险管控与修复效果评估范围的确定、采样介入节点、采样位置等关键问题。

编制说明

修复概念模型是对治理和修复后地块各方面情况的综合分析，因此本标准推荐采用文字、图、表等方式，尽可能对其进行充分的、客观的、形象的表达。

文本内容

【5.5.4】地块概念模型涉及信息及其作用见附录 A。

编制说明

建立地块修复概念模型的目的是指导修复效果评估工作的开展，其涉及多个环节的信息，需要从不同的资料中获取，本标准以附录的形式将其列出，以供实际工作参考。

7.6 土壤修复效果评估

7.6.1 土壤修复效果评估工作程序

文本内容

土壤修复效果评估的工作程序为：在更新地块概念模型的基础上，确定采样节点，制定布点和采样方案，明确评估范围、布点数量与位置、检测指标、评估标准值，开展现场采样与实验室检测，进行修复效果达标判断。

可采用逐一对比和统计分析的方法进行土壤修复效果评估，若达到修复效果，则根据情况提出后期环境监管建议并编制修复效果评估报告，若未达到修复效果，则应开展补充治理修复。

土壤修复效果评估工作程序见图 1。

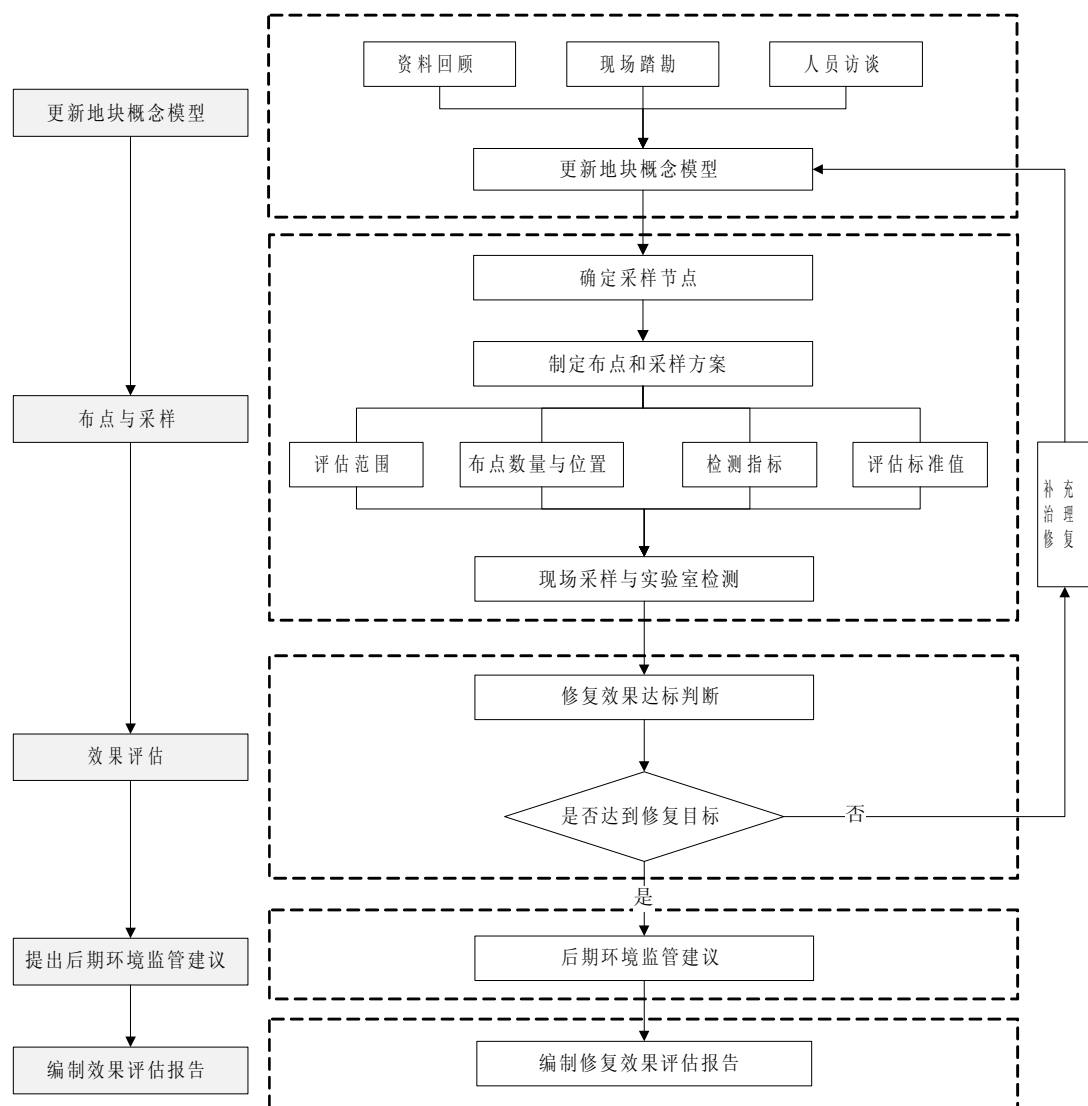


图 7 1 本标准土壤修复效果评估工作程序

编制说明

◆ 美国环保局 1996《场地清理达标评估方法——土壤、固废、地下水（卷1, 2, 3）》

本指南提供了考虑样本变异性的定量推断并控制错误决策可能性的工作程序。

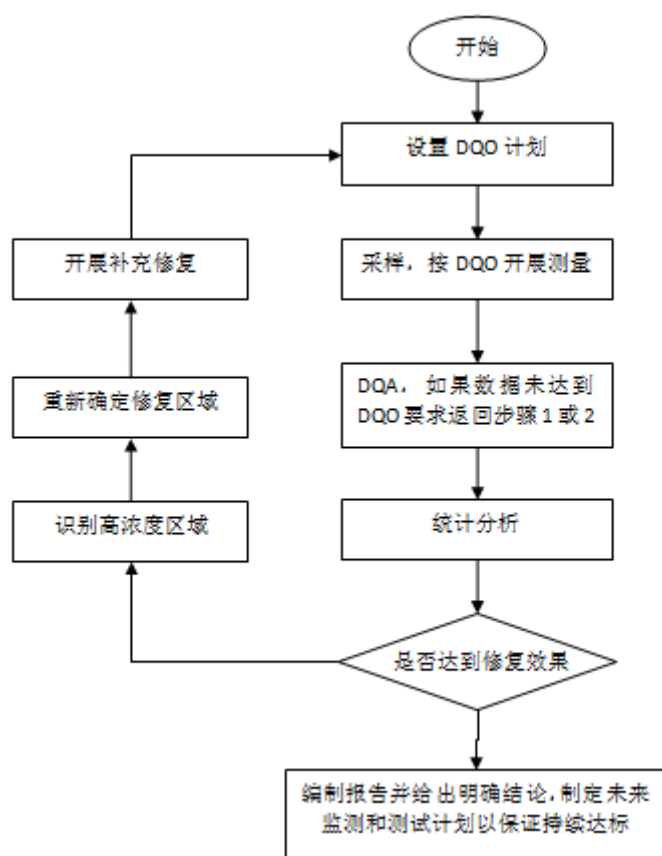


图 7 2 美国污染场地清理评估工作程序

◆ 加州2001《确认采样与分析计划》

2001年,美国加利福尼亚州规定了填埋场类场地验收采样方法,对于样本量和采样位置、验收布点方法和样品采集等方面做了详细的规定。

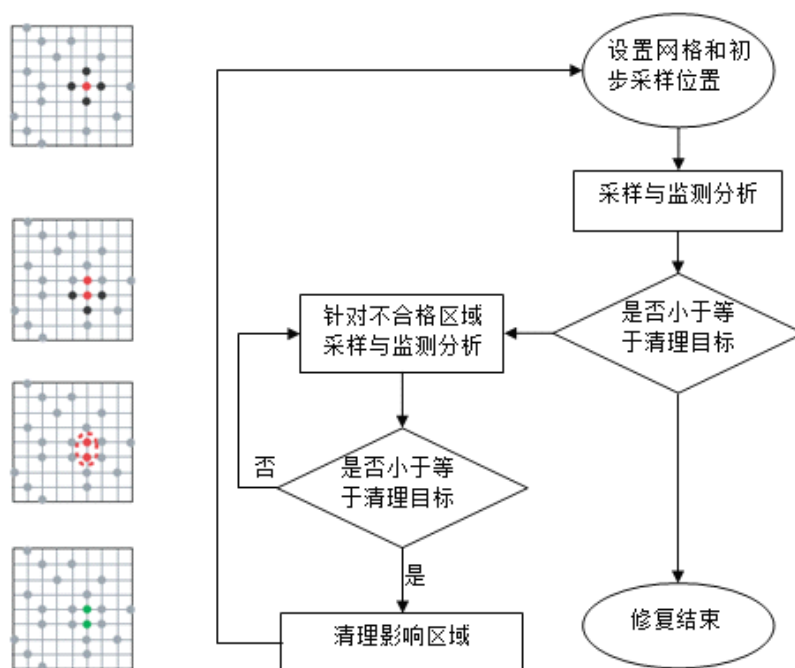


图 7 3 加州填埋场清理验收工作流程

◆ 原环保部 2014 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》

污染场地修复验收是在污染场地修复完成后，对场地内土壤和地下水进行调查和评价的过程，主要是通过文件审核、现场勘察、现场采样和检测分析等，进行场地修复效果评价，主要判断是否达到验收标准，若需开展后期管理，还应评估后期管理计划合理性及落实程度。在场地修复验收合格后，场地方可进入再利用开发程序，必要时需按后期管理计划进行长期监测和后期风险管理。

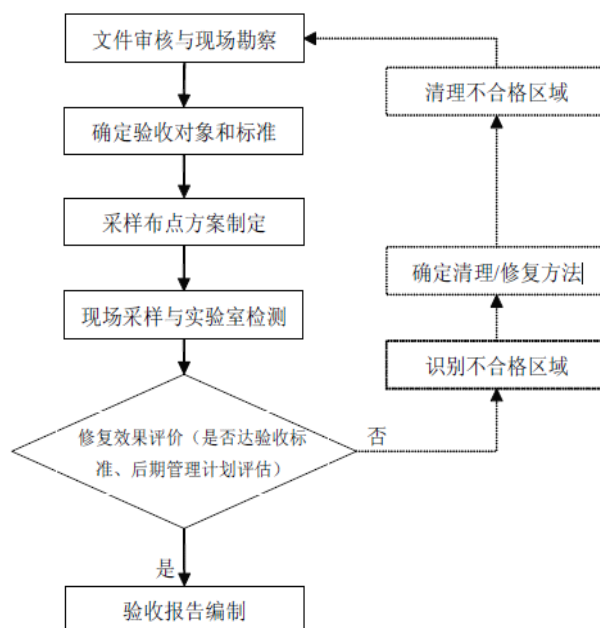


图 7 4 工业企业场地指南修复验收工作程序

◆ 北京市 2011 《污染场地修复验收技术规范》（DB11/T783-2011）

污染场地修复验收工作程序包括文件审核与现场勘察、采样布点方案制定、现场采样与实验室检测、修复效果评价、验收报告编制五个步骤，工作程序流程见下图。

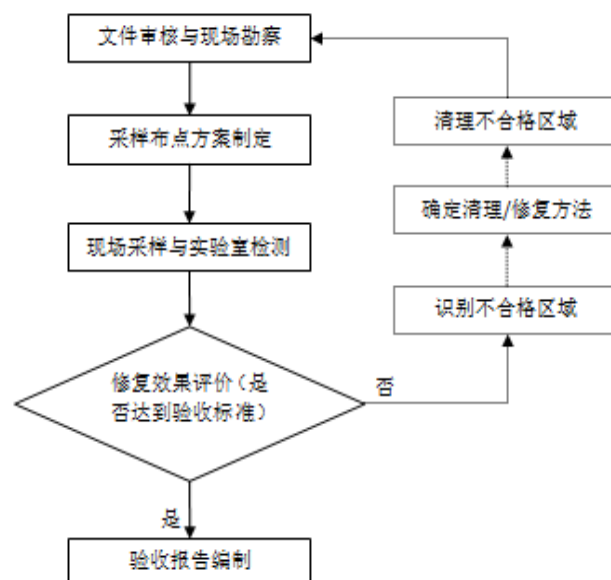


图 7 5 北京市场地修复验收工作程序

◆ 上海市 2015 《上海市污染场地修复工程验收技术规范》

2015年，上海市发布《上海市污染场地修复工程验收技术规范（试行）》，规定了上海市污染场地修复工程验收工作的基本原则、程序、内容和技术要求，制定了污染场地修复工程验收工作程序，与北京的效果评估（验收）技术规范在框架设计上基本相同，对部分流程进行细化。

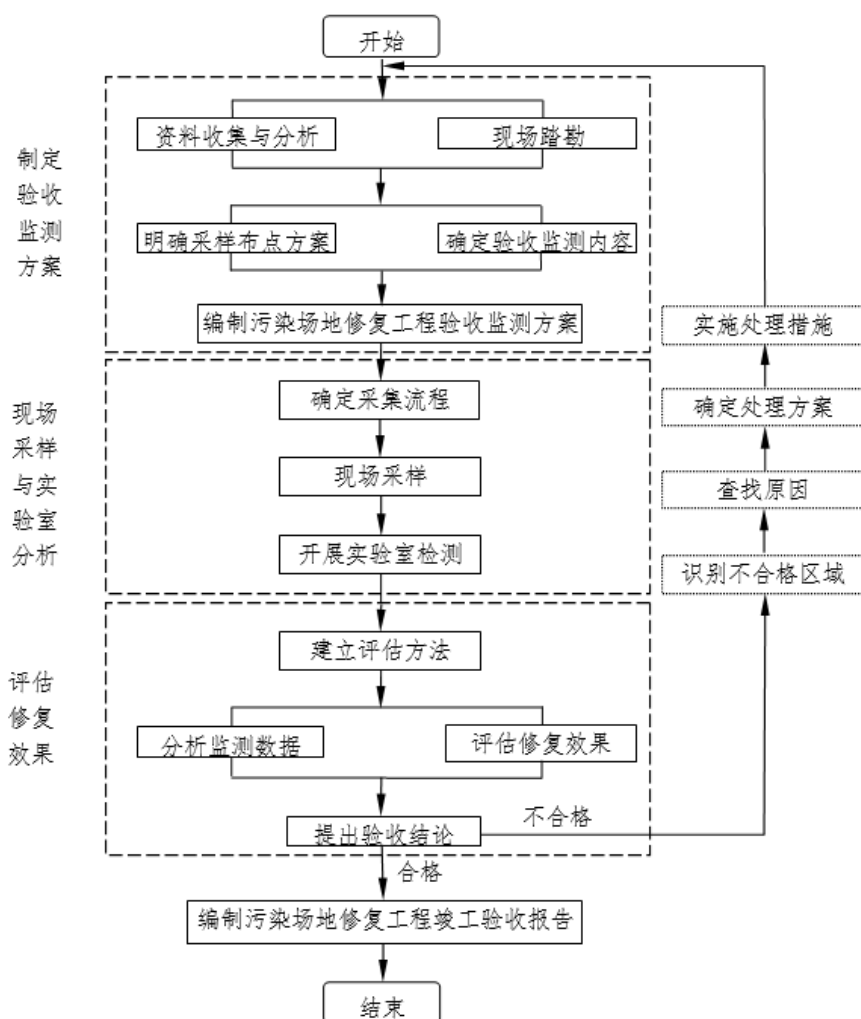


图 7 6 上海市修复效果评估工作程序

◆ 重庆市 2016 《重庆市污染场地治理修复验收技术导则》（DB50 / T 724-2016）

重庆的效果评估技术规范也是基本沿用了北京技术规范的工作程序，对各工作环节进行了细化。

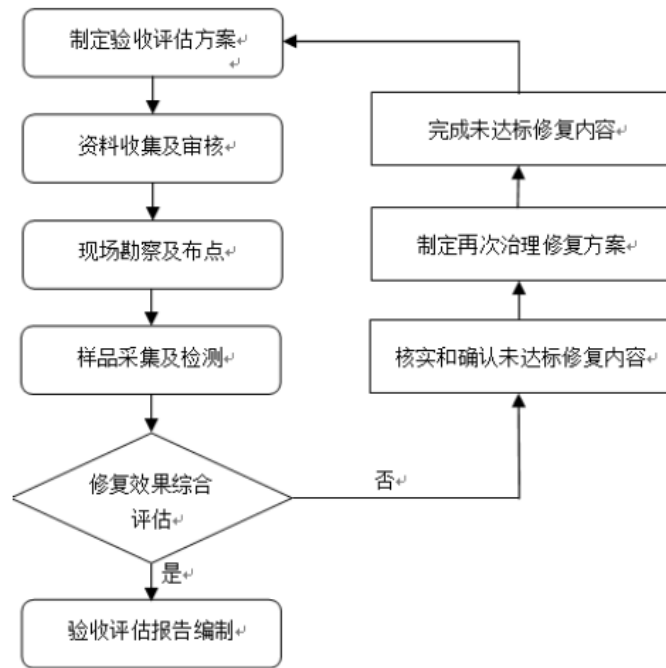


图 7 7 重庆市场地治理修复验收工作程序

◆ 浙江省 2018《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》

本标准主要参考《场地环境调查技术导则（发布稿）》（HJ 25.1-2014）、《北京市污染场地修复验收技术规范》（DB11/T 783-2011）以及美国场地环境调查评估与修复相关导则，提出了浙江省污染地块治理修复工程效果评估技术规范的框架，并根据风险管控和修复类项目的特点，综合考虑提出了资料整理与现场踏勘，明确评估对象、范围和时间段，制定效果评估工作方案、现场采样与实验室检测、治理修复效果评估、效果评估报告编制六个步骤。

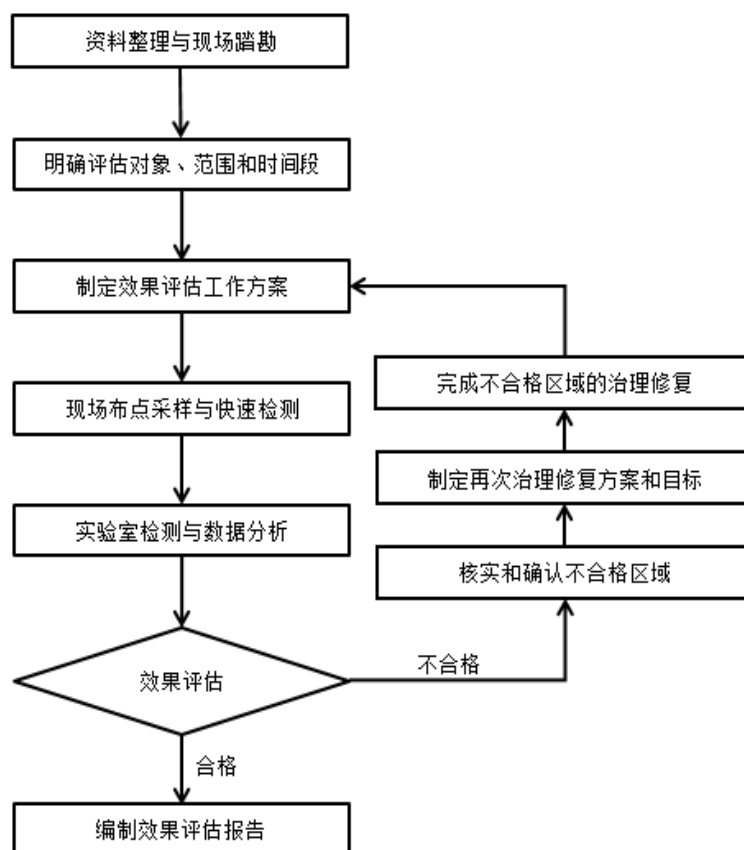


图 7 8 浙江省修复工程效果评估工作程序

◆ 广东省 2018《污染地块治理与修复效果评估技术指南》

2018年07月16日，广东省发布了《污染地块治理与修复效果评估技术指南》（征求意见稿），在工作程序中将原位异位修复与风险管控工程进行划分，对于原位和异位治理修复效果评估包含资料整理与现场踏勘，明确评估对象、范围和时间段，制定效果评估工作方案，现场布点采样，实验室检测，效果评估报告编制及提出后期监测建议；风险管控工程效果评估包含资料整理与现场踏勘，明确评估对象、范围和时间段，制定效果评估工作方案，工程实施效果评估，现场布点采样，实验室检测，效果评估报告编制及提出后期监测建议。同时符合两种类型效果评估的地块治理修复，应根据治理修复过程特点，对修复过程进行细分，并在各个修复阶段选用适合的效果评估程序进行评估，在汇总各阶段效果评估结果的基础上，最终形成修复工程治理修复效果评估报告。

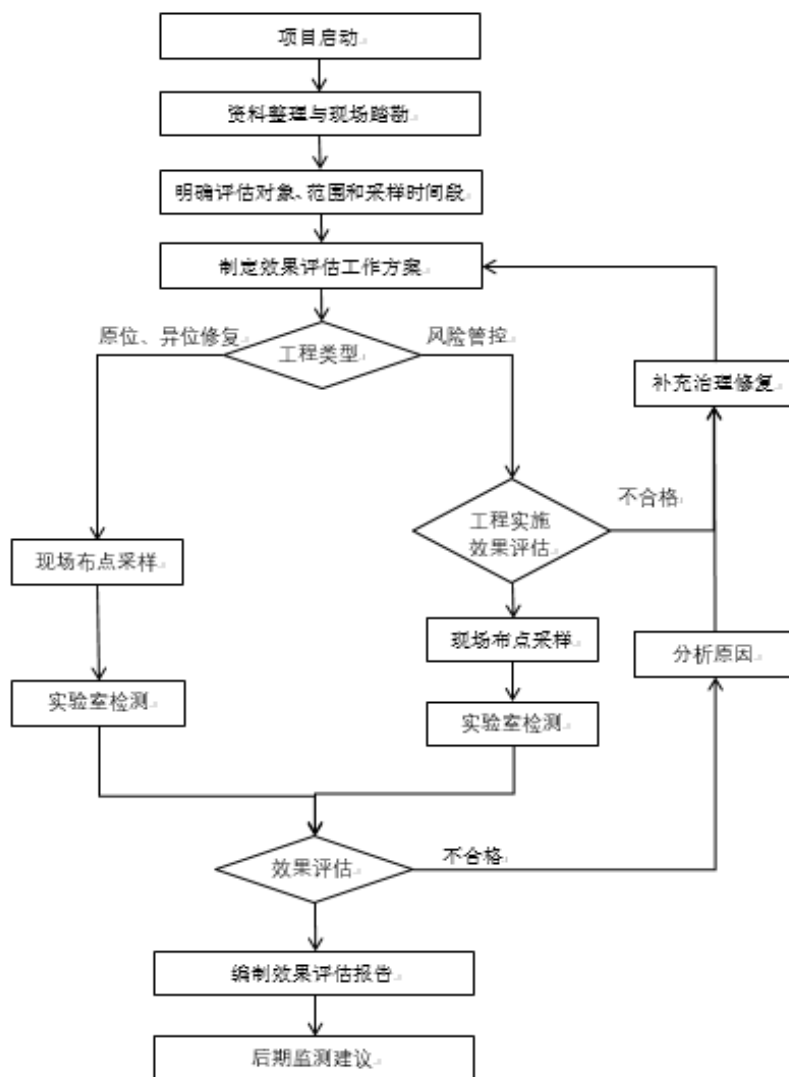


图 7-9 广东省治理修复效果评估工作程序

7.6.2 基坑清理效果评估技术要点

7.6.2.1 评估范围和对象

文本内容

【6.2.1.1】修复效果评估范围一般与地块修复方案中的修复范围一致。

【6.2.1.2】若由于地块利用方式变更、污染物毒性参数变化或调整等因素致使修复范围有变，应结合修复工程实际情况与管理要求调整修复效果评估范围。

编制说明

原则上，修复效果评估阶段的评估范围是需要开展治理与修复的区域，有些情况下可能会涉及修复范围的调整，例如 2017 年初苯并(a)芘毒性参数的调整引起修复目标值的变化从而可能需要调整修复范围，个别地块在修复阶段可能会涉及规划利用条件变更，也涉及修复范围的调整。本标准考虑此项因素，以期使修复效果评估具有客观性。



图 7 10 异位清理遗留基坑照片

文本内容

【6.2.1.3】修复效果评估范围应包含潜在二次污染区域，潜在二次污染区域包括但不限于：.....

编制说明

关于二次污染区域在北京市、浙江省、广州市的导则中均进行了考虑，本标准对其进行了进一步的细化，列明了修复工程可能涉及的二次污染区域，包括暂存区、修复区、堆存区、临时道路等，并增加污染物迁移涉及的区域，在此主要是指原位修复可能引起的污染物迁移情况。



修复设施所在区域



修复场地临时道路



修复设施内部



固体废物堆放处

图 7 11 土壤修复潜在二次污染区域照片

7.6.2.2 采样节点

文本内容

【6.2.2.1】污染土壤清理后遗留的基坑底部与侧壁，应在基坑清理之后、回填之前进行采样。

【6.2.2.2】若基坑侧壁采用基础维护，则宜在基坑清理同时开展基坑侧壁采样，或于基础维护实施后在基础外边缘采样。

【6.2.2.3】潜在二次污染区域土壤应在此区域开发使用之前进行采样。

编制说明

根据地块修复效果评估具体工作经验，以及现有导则要求，在此导则中对土壤修复效果评估采样节点进行了明确。对于基坑，常存在需要基坑围护的工程措施，在这种情况下，若桩基已经完成，则修复效果评估时无法在侧壁进行采样，因此本标准规定若采用桩基维护，则基坑侧壁采样与基坑清理同时进行。

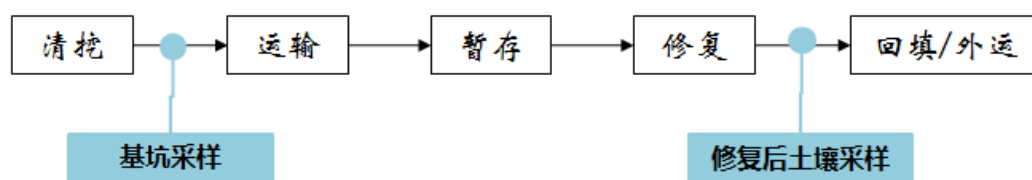


图 7-12 修复效果评估采样介入节点示意图

文本内容

【6.2.2.4】可根据工程进度对基坑与潜在二次污染区域开展分批次采样。

编制说明

根据近些年实际工程开展情况，部分场地可能涉及原地异位修复，这种情况下由于处置场所的限制，部分基坑可能会涉及提前回填，并且考虑工程进度，基坑可能会涉及多批次的清理，修复效果评估采样时可根据具体进度进行分批次采样。

7.6.2.3 布点数量与位置

文本内容

【6.2.3.1】基坑底部采用系统布点法，推荐采样网格大小见表 1，布点位置参见图 2。

【6.2.3.2】基坑侧壁采用等距离布点法，推荐采样间隔见表 2，布点位置参见图 2。当基坑相对深度大于 1m 时，侧壁应进行垂向分层采样，应考虑地块土层性质与污染垂向分布特征，在污染物易富集位置设置采样点，各层采样点之间垂向距离不大于 3m。

编制说明

考虑可操作性，并基于国内外文献调研，多采用系统布点法，因此本标准也规定基坑底

部采用《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)中 6.1.1 土壤监测点位布设方法中的规定;侧壁采样有些国家采用等距离布点方法,有些根据面积进行系统布点,由于侧壁深度与污染物分布的不同,本次推荐横向上采用等距离布点法。

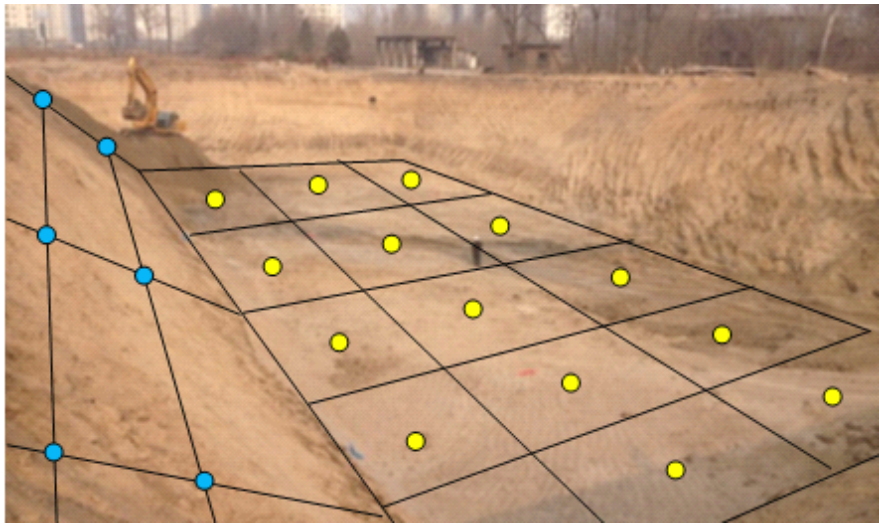


图 7 13 基坑底部与侧壁布点示意图

文本内容

【6.2.3.3】坑底与侧壁布点数量可采用本标准推荐采样数量(表 1 和表 2),也可根据基坑污染物浓度分布特征参数计算差变系数,根据不同差变系数采用对应的推荐采样网格(见表 3),差变系数计算方法见附录 B。

编制说明

(1) 统计学理论方法

对于污染地块修复效果评估,特别是大型污染地块,采样数量是有限的,任何程度的细分网格,增加采样点密度,仍然可能出现不达标点,加密采样和逐点达标的方法可能会导致过度花费或过度修复,因此采样布点实际上是一个统计学问题,其本质是由总体合理抽取样本,由样本科学推断总体,即用样本的频率和数字特征来评估总体的特征,在有限的样本情况下,使误判的概率在可接受水平内。

国外污染地块土壤验收主要是根据修复后场地土壤污染物的浓度分布确定场地验收的布点方案,同时结合场地土壤物理、化学和生物学特性及场地残留污染分布的建立样本量,采用假设检验的方法确定场地土壤修复是否达标。参考国外的做法,本研究提出基于统计学的验收布点及评估流程如下:

- ①依据场地的污染状况和修复技术,分析修复后场地可能残留污染的分布,确定修复后场地验收的抽样方法;
- ②基于不同抽样方法、场地可能残留污染分布包括变异系数、未检出数据比例等和风险控制目的确定适用的场地验收估计参数;
- ③基于不同的抽样方法和估计参数,以公式的形式给出样本量,并以附录的形式给出参

数图表供查询用；

④基于给定的样本量和抽样方法，进行场地采样，依据采样后的数据进行估计量计算，并进行达标检验。

本标准在附录中给出了统计学计算采样数量的方法。

（2）案例场地计算

在某案例场地修复效果评估基坑采样时，按照统计学方法进行了试算，其中未检出的用检出限代替。根据各污染物的数据分布情况，选用合适的计算方法，计算得到所需样本量。可以看出，除了计算方法较为繁琐之外，对于有多种污染物存在的基坑，由于各污染物的浓度分布不同，对应所需的样本量也不尽相同，因此实际计算虽然较为客观，但对于确定基坑采样点数量易造成困扰。

根据统计学理论，采样数量取决于污染物浓度的数据分布情况，计算繁琐，并且由于上述计算方法所需参数较多，在实际修复验收时难以获取这些参数，因此一些国家的相关技术指南中给出了推荐采样数量。

（3）国外推荐采样数量

◆ 美国密歇根州自然资源部《土壤修复验收指南》

主要针对异位修复的场地，给出了污染土壤挖走后坑底和侧壁的最低采样数量。底部和侧壁采样数量均根据面积确定，同时规定每个侧壁至少采集一个样品，对于不规则形状，采取等分的方法确定采样点。

Part1: <0.25 公顷

表 7 1 密歇根州基坑底部采样数量推荐

面积（平方英尺）	面积（平方米）	数量
<500	<46.45	2
500<1000	46.45<92.90	3
1000<1500	92.90<139.35	4
1500<2500	139.35<232.26	5
2500<4000	232.26<371.61	6
4000<6000	371.61<557.42	7
6000<8500	557.42<789.68	8
8500<10890	789.68<1 011.71	9

表 7 2 密歇根州基坑侧壁采样数量

面积（平方英尺）	面积（平方米）	数量
<500	<46.45	4
500<1000	46.45<92.90	5
1000<1500	92.90<139.35	6
1500<2000	139.35<185.81	7
2000<3000	185.81<278.71	8
3000<4000	278.71<371.61	9
>4000	>371.61	每 45 平方英尺一个样品

Part2: >0.25 公顷

表 7 3 密歇根州场地大小分类与网格间距推荐

场地大小	面积（公顷）	面积（公顷）	网格间距
小	<0.25	<10890	0-8.8
中	0.25-3.0	10890-130680	4.6-15.2
大	>3.0	>130680	>9.1

◆ 美国怀俄明州环境质量部《土壤确认采样指南》

针对不同面积的区域，分别规定了采样数量。

a) 对于面积小于等于 10000 平方英尺（930 m²）的区域：

至少采集 5 个样品，其中 1 个位于底部、4 个位于侧壁，侧壁采样点等分确定，对于深度小于等于 1 英尺（0.3m）的，侧壁不进行采样。坑底和侧壁采样点最低数目见下表。

表 7 4 怀俄明州基坑底部采样数量推荐

面积（平方英尺）	面积（平方米）	数量
$x < 500$	$x < 45.65$	1
$500 \leq x < 1000$	$45.65 \leq x < 92.90$	2
$1000 \leq x < 1500$	$92.90 \leq x < 139.35$	3
$1500 \leq x < 2500$	$139.35 \leq x < 232.26$	4
$2500 \leq x < 4000$	$232.26 \leq x < 371.61$	5
$4000 \leq x < 6000$	$371.61 \leq x < 557.42$	6
$6000 \leq x < 8500$	$557.42 \leq x < 789.68$	7
$8500 \leq x < 10000$	$789.68 \leq x < 929.03$	8

表 7 5 怀俄明州基坑侧壁采样数量推荐

长度（英尺）	长度（米）	数量
$x < 100$	$x < 9.29$	4
$100 \leq x < 200$	$9.29 \leq x < 18.58$	5
$200 \leq x < 300$	$18.58 \leq x < 27.87$	6
$300 \leq x < 500$	$27.87 \leq x < 45.65$	7
$500 \leq x$	$45.65 \leq x$	8

b) 对于面积大于 10000 平方英尺（930 m²）的区域：

根据场地特征确定，包括污染物最严重的位置、视觉、土壤类型等。一般运用网格采样的方式，网格大小为 400~1000 平方英尺（37.16~92.90 m²）。在每个网格中心采样或者随机采样。

◆ 明尼苏达州 1998 《基于风险的场地特征和采样指南》

美国明尼苏达州污染控制局1998年对污染场地采用异位修复挖掘后基坑底部、侧壁、土壤堆体以及原位修复的采样数量均有明确的规定，推荐采样数量同美国密歇根州自然资源部推荐数量。

◆ 安大略省 1996 《污染场地采样和分析方法指南》

表 7 6 安大略省地下储罐清理基坑最小采样数量

基坑面积 (m ²)	基坑样品	侧壁样品
<25	2	2
>25-50	2	3
>50-100	3	3
>100-250	3	5
>250-500	4	6
>500-750	4	7
>750-1000	5	8

◆ 新泽西州 2011《场地清理指南》

美国新泽西州发布了调查、修复调查和验收的土壤采样技术指南，指南中对于污染场地挖掘后的基坑、异位修复后的土壤堆体以及原位修复后的土壤在验收过程中的布点方案、采样数量提出了一些原则性的建议。

◆ 新西兰《污染场地管理指南卷5：土壤调查与分析》

运用探测热点区域方法，规定了采样点数量。

表 7 7 新西兰基于探测热点的最低采样数量推荐

95%置信可探明的热点区域直径（米）	网格大小（米）	场地面积（平方米）	最低采样数量（个）
11.8	10.0	500	5
15.2	12.9	1000	6
19.9	16.9	2000	7
21.5	18.2	3000	9
22.5	19.1	4000	11
23.1	19.6	5000	13
23.6	20.0	6000	15
23.9	20.3	7000	17
24.2	20.5	8000	19
25.0	21.2	9000	20
25.7	21.8	10000	21
28.9	24.5	15000	25
30.5	25.8	20000	30
31.5	26.7	25000	35
32.4	27.5	30000	40
32.9	27.9	35000	45
33.4	28.3	40000	50
34.6	29.3	45000	52
35.6	30.2	50000	55

（4）国内推荐采样数量

◆ 原环保部 2014《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2-2014）

导则中规定“6.4.1 对治理修复后场地的土壤验收监测一般应采用系统布点法布设监测点位，原则上每个监测地块面积不应超过 1600m²，也可参照环境调查详细采样监测阶段的监测点位布设。”

◆ 原环保部 2014《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》

基本上沿用北京市导则的规定：

表 7 8 基坑底部采样点数量——原环保部指南

采样区域面积 (m ²)	土壤采样点数目 (个)
小于 100	3
100~500	4
500~1000	5
1000~1500	6
1500~2500	7
2500~3500	8
3500~5000	9
大于 5000	≥10

修复范围侧壁采用等距离布点方法，根据边长确定采样点数量。当修复深度小于等于 1 米时，侧壁不进行垂向分层采样。当修复深度大于 1m 时，侧壁应进行垂向分层采样，各层采样点之间垂向距离不小于 1m，采样点位置可依据土壤异常气味和颜色，并结合场地污染状况确定。

表 7 9 基坑侧壁布点数量——原环保部指南

采样区域周长 (m)	土壤采样点数量 (个)
50	4
50~100	5
200~200	6
200~300	7
300 以上	≥8

◆ 北京市 2011《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)

2011 年，北京市在国内率先发布了第一个关于污染场地修复验收的技术规范，其中对基坑的采样数量近些年被多个场地参考使用。

表 7 10 基坑底部采样点数量——北京市

采样区域面积 (m ²)	土壤采样点数量 (个)
$x < 100$	1
$100 \leq x < 500$	2
$500 \leq x < 1000$	3
$1000 \leq x < 1500$	4
$1500 \leq x < 2500$	5
$2500 \leq x < 5000$	6
$5000 \leq x < 10000$	7
$10000 \leq x < 25000$	8
$25000 \leq x < 50000$	9
$50000 \leq x < 100000$	10
≥ 100000	20

表 7 11 基坑侧壁布点数量——北京市

采样区域周长 (m)	土壤采样点数量 (个)
------------	-------------

<100	4
100≤x<200	5
200≤x<300	6
300≤x<500	7
≥500	8

◆ 上海市 2015《上海市污染场地修复工程验收技术规范》

根据基坑底部面积按表 1 中的方法确定样品采集数量，并划分采样单元，采样单元原则上网格大小不超过 20m×20m，可在每个采样单元均匀划分为 9 个地块，并在每个地块采集 1 个表层样品（0~20cm）制成 1 个混合样。

表 7 12 基坑底部布点数量——上海市

基坑底部面积 (m ²)	土壤样品采集数量 (个)
<100	3
100~500	4
500~1000	5
1000~1500	6
1500~2500	7
2500~3500	9
3500~4500	12
>4500	不超过 20m×20m 网格为一个采样单元

根据基坑侧壁长度按表 2 中的方法确定样品采集数量，并按样品数量均匀划分横向采样单元，横向采样单元原则上不超过 40m，可在每个横向采样单元均匀划分 9 段，并在每段剖面表面采集 1 个样品制成 1 个混合样。

表 7 13 基坑侧壁布点数量——上海市

基坑区域周长 (m)	土壤样品采集数量 (个)
<50	4
50~100	5
100~200	6
200~300	8
>300	以 40m 为一个采样单元

当挖掘清理深度不超过 1m 时，不进行垂向分层采样，当挖掘清理深度大于 1m 时，应进行垂向分层采样，第一层为表层土壤（0~20cm），表层以下以 3m 为一个垂向采样单元进行分层采样。

◆ 重庆市 2016《重庆市污染场地治理修复验收技术导则》

对于基坑样点数量的规定为：

表 7 14 基坑坑底采样数量——重庆市

采样区域面积 (m ²)	土壤采样点数目
--------------------------	---------

<100	3
100~500	4
500~1000	5
1000~1600	6
1600~2800	7
>2800	按照 HJ 25.2-2014 中污染场地治理修复监测点位布设（网格面积不大于 20m×20 m）

表 7 15 基坑侧壁采样数量——重庆市

采样区域周长（m）	土壤采样点数目
<50	3
50~100	4
100~200	5
>200	按照 HJ 25.2-2014 中污染场地治理修复监测点位布设（每段最大长度不超过 40m）

本标准也规定了在场地治理修复过程中产生扰动或可能受到二次污染的区域的数量。

表 7 16 扰动或二次污染区域采样数量——重庆市

采样区域面积（m ² ）	土壤采样点数目
<100	1
100~500	2
500~1000	3
1000~1600	4
>1600	按照 HJ 25.2-2014 中污染场地治理修复监测点位布设（单块最大面积不超过 400 m ² ）

◆ 浙江省 2017《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》

“坑底表层采用网格布点的方法，采样数量不应少于表1规定的数量。网格的大小应根据基坑的大小和形状均匀布设。采样点的位置可依据土壤异常气味和颜色、并结合地块污染状况确定。”

表 7 17 土壤清挖坑底表层采样点数量要求——浙江省

采样区域面积/m ²	土壤采样点数目（个）
$x < 500$	3
$500 \leq x < 1000$	4
$1000 \leq x < 2500$	5
$2500 \leq x < 5000$	6
$5000 \leq x < 7500$	7
$7500 \leq x < 10000$	8
$x \geq 10000$	不超过 40m×40m 网格为一个采样单元

“修复范围侧壁在横向上采用等距离布点方法，根据边长按照确定采样点数量，且不应少于表2规定的数量。当在纵向上当修复深度小于等于1米时，侧壁不进行垂向分层采样。当修复深度大于1m时，侧壁应进行垂向分层采样，采样的第一层为表层（0~20cm），其下则每隔一定距离进行分层，分层的距离不小于1m且不大于3m。

分层后采样数量=单层的采样数量（不少于表2规定的数量）×层数。

采样点的位置应结合场地地层特征、土壤异常气味和颜色等情况进行确定。”

表 7 18 土壤清挖侧壁采样数量要求——浙江省

采样区域周长/m	土壤采样点数目 (个)
$x < 100$	4
$100 \leq x < 200$	6
$200 \leq x < 300$	7
$300 \leq x < 400$	8
$x \geq 400$	以 50m 为一个采样单元

◆ 广州市《广州市工业企业场地环境调查、修复、效果评估文件技术要点》

基坑底部和侧壁采样布点：

根据地块大小和污染强度，应将四周的侧面等分成段，每段最大长度不应超过40m，在每段均匀采集9个表层土壤样品制成混合样（测定挥发性和半挥发性有机物项目的样品除外），挥发性和半挥发性有机物项目监测点位布设参照对角线法进行，每段不少于4个土壤样品；将底部均分成块，单块的最大面积不应超过400m²，在每个地块中均匀分布地采集9个表层土壤样品制成混合样（测定挥发性有机物项目的样品除外），挥发性和半挥发性有机物项目监测点位布设参照对角线法进行，每个地块不少于4个土壤样品。

修复范围侧壁采用等距离布点方法，根据边长确定采样点数量。当修复深度小于等于1米时，侧壁不进行垂向分层采样。当修复深度大于1m时，侧壁应进行垂向分层采样，第一层为表层土（0~0.2m），0.2m以下每1~3m分一层，不足1m时与上一层合并。各层采样点之间垂向距离不小于1m，采样点位置可依据土壤异常气味和颜色，并结合场地污染状况确定。

临时堆场区域：

单块面积不应超过400m²，在每个地块中均匀分布地采集9个表层土壤样品制成混合样（测定挥发性有机物项目的样品除外），挥发性有机物项目监测点位布设参照对角线法进行，每个采样单元不少于5个土壤样品。”

（5）本标准推荐采样数量

根据国内外已有文献，基坑底部的采样网格 7m*7m~90m*90m 不等，侧壁或采用等距离采样或采用面积划分网格采样。相对来讲，美国等国家的污染场地修复效果评估阶段基坑布点数量的密度稍大于国内，近年来国内开展修复效果评估工作多采用 2014《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2-2014）或北京市 2011《污染场地修复验收技术规范》（DB11/T783-2011），基本上可以满足实际工作的需要。本次制定导则过程中，结合实际情况，细化了不同面积基坑的推荐采样数量，并列出了推荐的网格大小，以供使用方便。

表 7 19 异位修复遗留基坑底部最少采样点数量——本标准

基坑面积(m ²)	网格大小(m)
$x < 100$	10 × 10
$100 \leq x < 1000$	15 × 15
$1000 \leq x < 2500$	20 × 20

$2500 \leq x < 5000$	25×25
$5000 \leq x < 10000$	30×30
$10000 \leq x < 25000$	35×35
$25000 \leq x < 50000$	40×40
≥ 50000	40×40

表 7 20 异位修复遗留基坑侧壁采样点数量——本标准

侧壁长度(m)	采样间隔 (m)
$x < 100$	10
$100 \leq x < 200$	20
$200 \leq x < 300$	30
$300 \leq x < 500$	40
≥ 500	40

文本内容

【6.2.3.4】对于潜在二次污染区域土壤，原则上采用判断布点法根据修复设施设置、潜在二次污染来源等资料设置采样点，也可采用系统布点法设置采样点。布点数量参照表 1 推荐网格大小计算。

编制说明

此处意在对修复过程中设施所在区、临时道路、堆放区等可能受二次污染的土壤进行采样，以整体评估地块修复效果。

文本内容

【6.2.3.5】基坑坑底和侧壁、潜在二次污染区域样品，以去除杂质后的土壤表层样为主（0~30cm），不排除深层采样。

编制说明

基坑修复效果评估的目的是评估基坑是否清理到位，因此一般情况下，在基坑清理后表层采样即可表征剩余土壤是否还存在污染的情况，为避免基坑清理表面受到影响，因此建议一般情况下在去除杂质后采样；对于个别情况，例如为了进一步判定补充清理的深度，可能也需要根据实际情况进行深层采样。

7.6.2.4 检测指标

文本内容

【6.2.4.1】基坑土壤的检测指标一般为对应修复范围内土壤中目标污染物。

【6.2.4.2】相邻基坑目标污染物不同时，基坑交界线两侧 2m 之内应同时检测相邻基坑中目标污染物。

编制说明

基坑检测指标已是共识，由于实际场地中常划分多个基坑，实际工作中常见到基坑相邻但清理深度与目标污染物不相同的情况，而修复范围常由场地调查阶段数据采用不同方式插

值而确定，基于土壤污染分布的不均一性与插值的理论性，相邻修复范围的分割线不能把污染物的分布客观分割，因此在修复效果评估时建议在基坑交界处同时检测两侧的目标污染物。

7.6.2.5 评估标准值

文本内容

【6.2.5.1】基坑土壤评估标准值为地块调查评估与修复方案中确定的污染物的修复目标值。

【6.2.5.2】若土壤暴露情景有变，应根据实际情况调整效果评估标准值。

编制说明

基坑清理后应能满足地块开发利用的要求，其坑底和侧壁土壤中污染物的浓度应为本地块调查评估和修复方案确定的目标污染物的目标值，若由于开发情景、建筑情景等的变化造成土壤暴露情景有变，应根据实际情况进行调整。

7.6.3 异位修复效果评估技术要点

7.6.3.1 评估对象

文本内容

土壤异位修复效果评估的对象为开展异位修复后的土壤堆体。

编制说明

修复效果评估的对象已基本达成共识，包括异位修复的基坑底部与侧壁、原位和异位修复后土壤，本标准再次强调了潜在二次污染区域的土壤修复后也需要进行修复效果评估。关于筛上物，是目前修复工程往往疏漏的内容，一些在冲洗后未做检测，但可能存在污染，特别是小颗粒的筛上物，此部分内容在重庆市修复验收导则中涉及，由于筛上物在部分场地修复中所占比重不低，因此本标准增加了筛上物的检测与评估。



图 7 14 异位修复后土壤堆体照片

7.6.3.2 采样节点

文本内容

【6.3.2.1】修复效果评估对象为开展异位修复后的土壤堆体。

编制说明

根据地块修复效果评估具体工作经验，以及现有各导则要求，在此导则中对土壤修复效果评估采样节点进行了明确。

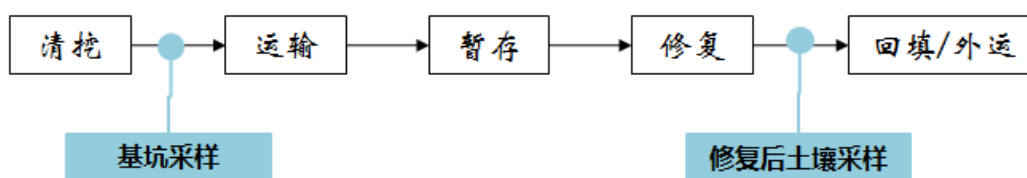


图 7 15 修复效果评估采样介入节点示意图

文本内容

【6.3.2.2】按照堆体模式进行异位修复的土壤，宜在堆体拆除之前进行采样。

编制说明

异位修复若按照堆体模式进行修复，建议在堆体拆除之前进行采样，一则可以根据管线设置判断修复薄弱点，二则若修复未达标可以直接开启修复设施。若在拆除之后进行修复，则会造成不便，若迫于场地限制或工程进度不得不在拆除后采样，则对未达标区域土壤的继续修复可能较为繁琐。

文本内容

【6.3.2.3】异位修复后的土壤堆体，可根据修复进度开展分批次采样。

编制说明

对于修复后的土壤，由于处置场所限制或工程进度，同理可分批次采样。

7.6.3.3 布点数量与位置

文本内容

【6.3.3.1】修复后土壤原则上每个样品代表的土壤体积不应超过 500m³；对于修复效果比较均匀且去除率较高的技术，例如热脱附技术，在设施运行稳定情况下，原则上每个样品代表的土壤体积不应超过 1000m³。

编制说明

运用统计学方法计算修复后土壤采样数量与基坑土壤方法相同，同样也存在前期数据获取不便、计算过程繁琐等问题，并且数量多少与堆体的大小无关，只与数据分布有关，虽然统计意义上科学性较高但可操作性不强，因此本标准依旧给出了推荐采样数量，统计学方法可以作为参考或者验证。

（1）国外推荐采样数量

◆ 明尼苏达州 1996《基于风险的场地特征与采样指南》

本指南推荐堆体采样数量如下：

表 7 21 明尼苏达州堆体样品采集数量表

土壤堆体体积 (CY)	堆体体积 (m ³)	采样数量
0-500	0-382.28	1 个样品/每 76.46m ³
501-1000	382.28-764.55	1 个样品/每 191.13m ³
>1001	>764.55	1 个样品/每 382.28m ³

备注：CY：Cubic yards，立方码。

◆ 明尼苏达州《土壤样品采集和分析程序》

本指南对于石油污染的异位处理/处置的土壤堆体，对于挥发性有机污染物（Volatile Organic Compounds，VOCs）、汽油类污染物（Gasoline Range Organics，GRO）和柴油类污染物（Diesel Range Organic，DRO），要求的采样数量如下：

表 7 22 明尼苏达州土壤堆体的随机采样数量要求

土壤堆体体积 (CY)	土壤堆体体积 (m ³)	随机采集样品数
<50	<38.23	1
51-500	38.23-382.28	2
501-1000	382.28-764.55	3
1001-2000	764.55-1529.11	4
2001-4000	1529.11-3058.21	5
每增加 2000	每增加 1529.11	每增加 1 个样品

如果土壤堆体小于 10 立方码 (7.65m³), 并不需要采集土壤样品进行分析, 除非它有可能是危险废物。

◆ 明尼苏达州 2008 《土壤样品采集和分析指南》

对于重金属类污染物以及多氯联苯 (polychlorinated biphenyls, PCBs), 要求收集单独的混合样品。混合样的收集方式如下: 从一个土壤堆体中随机采集 15 份土壤样品, 将收集的样品放入清洁的容器内进行充分的混合后, 再取样进行污染物分析。

◆ 新泽西州 2012 《场地调查、修复调查和修复效果验证土壤采样技术指南》

本指南推荐的土壤堆体的采样数量如下:

表 7 23 新泽西州堆体样品采集数量推荐表

土壤堆体体积 (CY)	堆体体积 (m ³)	无判断的默认采样数量	有判断的抽样采样数量
0-20	0-15.29	1	1
20.1-40	15.29-30.58	2	2
40.1-60	30.58-45.87	3	2
60.1-80	45.87-61.16	4	2
80.1-100	61.16-76.46	5	2
100.1-200	76.46-152.91	6	3
200.1-300	152.91-229.37	7	3
300.1-400	229.37-305.82	8	4
400.1-500	305.82-382.28	9	4
500.1-600	382.28-458.73	10	5
600.1-700	458.73-535.19	11	5
700.1-800	535.19-611.64	12	6
800.1-900	611.64-688.10	13	6
900.1-1000	688.10-765.56	14	7
1000.1-2000	765.56-1529.11	15	8
2000.1-3000	1529.11-2293.66	16	9
3000.1-4000	2293.66-3058.21	17	10
4000.1-5000	3058.21-3822.77	18	11
5000.1-6000	3822.77-4587.32	19	12
6000.1-7000	4587.32-5351.88	20	13
7000.1-8000	5351.88-6116.43	21	14
8000.1-9000	6116.43-6880.98	22	15
9000.1-1000	6880.98-7645.54	23	16

◆ 其他

美国 ITRC 制定了不同修复技术的方案编制与实施情况, 其中对修复效果评估均根据各自特征有不同要求, 例如, 固化稳定化处理后采样频次取决于工程总量、每天处理速率、可观测到的混合一致性、可观测到的污染物材料属性以及其他因素, 原则上每一批次或设施运行条件变化时均需采样, 每 400-800m³ 采集一个样品。

(2) 国内推荐采样数量

◆ 原环保部 2014《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)

导则中规定“6.4.3 对原地异位治理修复工程措施效果的监测，处理后土壤应布设一定数量监测点位，每个样品代表的土壤体积应不超过 500m³。”

导则中对于原位修复已经突破了点位数量限制的思路，规定“6.4.2 对原位治理修复工程措施（如隔离、防迁移扩散等）效果的监测，应依据工程设计相关要求进行监测点位的布设。”

◆ 原环保部 2014《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》

基本上沿用北京市导则的规定，增加了异位修复的点位数量要求。

“6.2.4.1（2）原位修复后的土壤 对于原位修复场地，水平方向布点方案与异位修复后的基坑布点方法相同。

修复范围内部应钻孔分层采样，采样点深度要求与异位修复采样要求相同。应根据场地的土壤与水文地质条件的非均质性，结合污染物的迁移特性、修复技术特点等，根据修复效果空间差异，在修复效果的薄弱点增加采样点。

6.2.4.1（3）异位修复治理后的土壤 对于异位修复后的土壤，采用随机布点法布设采样点，原则上每个样品代表的土壤体积不应超过 500m³，布点数量应根据修复技术修复效果、土壤的均匀性等实际情况进行调整。”

◆ 北京市 2011《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)

北京市导则规定了原位修复布点数量：“对于原位修复场地，主要对修复范围内的污染土壤进行采样。修复范围内应钻孔分层采样，每层采样点数量应不少于表 1 的数量，采样点深度按照 6.2.1.2 的要求确定。修复范围边缘采样点数量应不少于表 2 的数量。”对于异位修复场地没有做出规定。

◆ 上海市 2015《上海市污染场地修复工程验收技术规范》

“修复后的土壤以 500m³ 为一个采样单元，可在土壤堆体表层、中层和底层分别采集土壤样品制成 1 个混合样。当修复量不超过 500m³ 时，应同时采集 1 个平行样品。针对挥发性有机物污染土壤不宜采用混合取样，应在每个采样单元表观最严重的区域采集 1 个土壤样品。”

“6.4.1.2 土壤原位修复 对修复范围内的土壤进行钻孔分层采样，在每一个水平采样单元采集土壤样品。水平采样单元面积按 6.4.1.1 中基坑底部采样布点方法确定，修复范围边界采样单元长度按 6.4.1.1 中侧壁采样布点方法确定。”

◆ 重庆市 2016《重庆市污染场地治理修复验收技术导则》

“异位修复后的非挥发性有机物污染土壤，采用系统随机布点法采集混合土壤样品，每个样品代表的土壤体积不超过 500m³，每个样品的混合点位不少于 5 个。异位修复后挥发

性有机物污染土壤每 500 m³ 采 2 个非混合样。”

“5.3.2.2 原位修复场地. 原位修复场地验收评估采样点位的布设可参考 HJ 25.2-2014 要求, 覆盖原位修复范围, 进行分层采样, 同时结合修复工程设计要求、场地水文地质条件和污染物迁移特性等因素, 在高风险区和修复效果薄弱区增加监测点位。”

◆ 浙江省 2017《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》

“对于异位修复过程中进行过均质化处理（如热脱附）的土壤, 原则上每个样品代表的土壤体积不应超过 500m³。

对采用微生物修复、植物修复或自然降解等非介入性原位修复技术, 采样点布设数量可直接参考规定的数量; 对于原位热脱附、原位气相抽提、原位化学氧化、原位电动修复等介入性原位修复技术, 采样数量不应少于表 3 规定的数量, 评估单位还可根据修复技术介入方法、影响半径等技术因素结合现场实施情况, 在规定的数量基础上适当增加采样点位数量。”

表 7 24 土壤原位修复采样点数量要求——浙江省

采样区域面积 (m ²)	土壤采样点数目 (个)
$x < 100$	3
$100 \leq x < 500$	4
$500 \leq x < 1000$	5
$1000 \leq x < 1500$	5
$1500 \leq x < 2500$	7
$x \geq 2500$	不超过 20m×20m 网格为一个采样单元

◆ 广州市《广州市工业企业场地环境调查、修复、效果评估文件技术要点》

“对原地异位修复处理后的暂存土壤布设监测点位, 每个样品代表的土壤体积应不超过 500m³。

对于异位修复过程中进行过均质化处理（如热脱附）的土壤, 原则上每个样品代表的土壤体积不应超过 500m³。”

(3) 本标准推荐采样数量

从国外与国内的推荐数量来看, 国外的点位密度大于国内推荐值, 且根据不同修复技术或堆体大小有不同的要求, 国内的推荐数量对不同修复技术尚无明显差别。而根据技术原理与实际工程数据可以看出, 修复效果波动越小、修复实际效果越好于修复目标要求, 则所需采样数量越少, 修复效果越不均一、修复后土壤中污染物浓度越接近目标值, 则所需采样数量越多。采样数量的确定是一个统计学问题, 同时兼顾科学性与可操作性, 本标准根据修复效果的均匀性与去除效果的高低将修复技术分为两类。

基于案例分析, 在设施运行稳定情况下, 热脱附技术修复后的土壤中污染物浓度远远低于目标值, 致使甚至 10000m³ 大小的堆体采集一个样品已经足够, 考虑可操作性, 在此处将常规采用的 500m³ 提高到了 1000m³。

文本内容

[6.3.3.2]也可根据修复后土壤中污染物浓度分布特征参数计算修复差变系数，根据不同差变系数查询计算对应的推荐采样数量（见表4），差变系数计算方法见附录B。

编制说明

本标准编制过程中总结了根据实际情况计算采样点数量的方法，由于公式与参数较多，本标准制定过程中采用通常使用的 α 错误与 β 错误取值，分别为0.95和0.80，计算得出一个中间过程参数，命名为“差变系数”。根据数据分布情况计算超标比例后可根据下表直接查阅每个样点代表的土方量。

文本内容

【6.3.3.3】对于按批次处理的修复技术，建议符合前述要求的同时，每批次至少采集1个样品；对于按照堆体处理的修复技术，若在堆体拆除前采样，建议符合前述要求的同时，结合堆体大小采用推荐采样点数量，推荐数量参见表5。

编制说明

由于修复效果与设施运行情况直接相关，因此建议对于按照批次处理的修复技术，每批次都要进行采样，以免疏漏。

对于按照堆体处理的修复技术，此处采用国内目前常用的方量要求，同时结合国外针对不同堆体大小的数量要求设置推荐采样点数量。

文本内容

【6.3.3.4】修复后土壤一般采用系统布点法在堆体内均匀布点，采样点位置见图3；对于修复效果不均匀的技术，应根据修复效果空间差异，在修复效果薄弱区设置采样点。

编制说明

修复后的土壤堆体采样位置采用国内外基本通用的均匀网格布点法，堆体常有两种，一种是批次处理后堆存的堆体，一种是异位堆体状态修复的堆体，对于后者，可能会存在效果不均一的情况，或由于管线设置的不均一性、或由于天气变化或其他工况影响局部区域，因此易导致修复薄弱区的出现，而薄弱区是更需关注的，修复效果评估采样时应重点考虑。

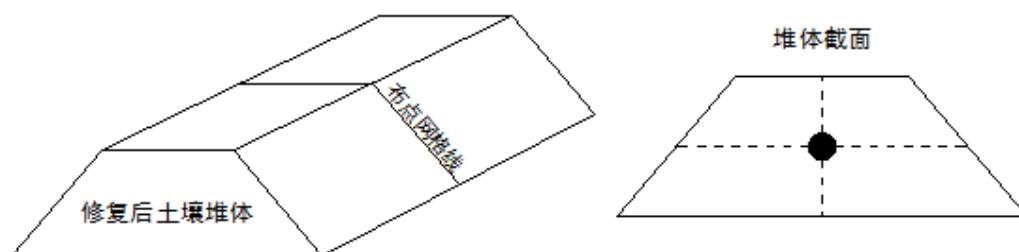


图 7 16 修复后土壤堆体采样点位置示意图

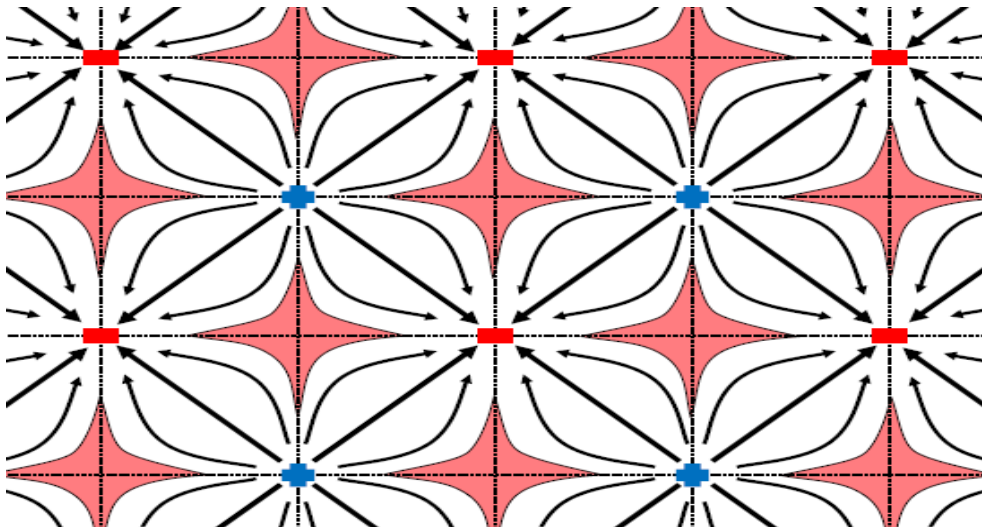


图 7 17 修复效果薄弱区示意图

例如，在案例场地的生物通风技术，靠近管道阀门调节阀的两排土壤气监测点结果显示这些区域氧气浓度分布相对较均匀，浓度范围在 14%至 18%。但是，堆体最南边（及距离调节阀最远端）的一排土壤气监测点结果显示，6 号及 13 号监测点及其附近区域堆体中氧气浓度较低。通过对堆体进行检查发现，这两个监测点附近对顶膜与进气口的焊接由于前一冬天的恶劣天气出现裂口，雨水直接进入堆体，导致这两个点所在区域土壤几乎完全饱和，氧气难以进入这些区域，这些运行工况的差异将直接影响修复效果。

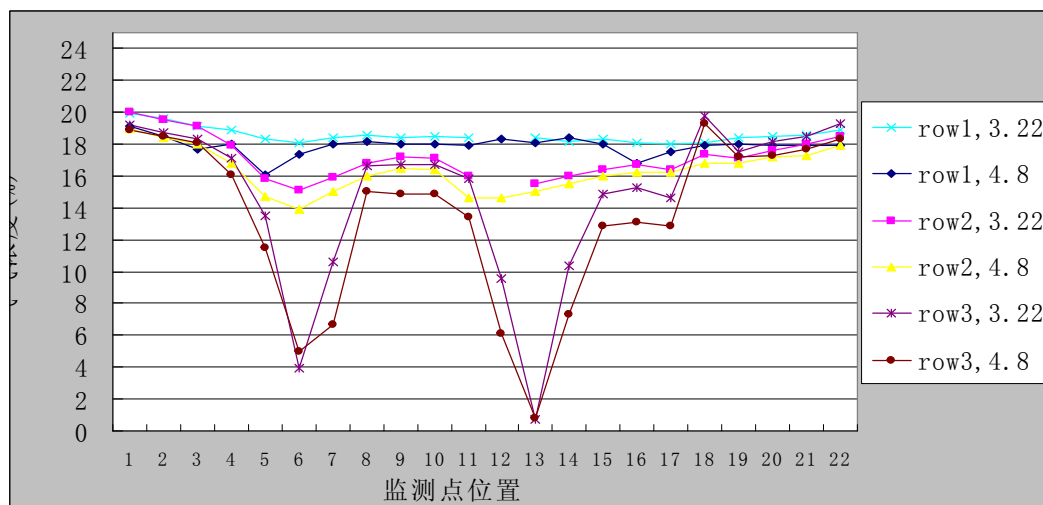


图 7 18 案例堆体底层监测点氧气浓度分布差异示意图

文本内容

【6.3.3.5】修复后土壤堆体的高度应便于效果评估采样工作的开展。

编制说明

根据实际工作经验，对于个别场地，特别是原地异位修复场地，由于修复实施区面积大小的限制，可能会出现堆体高度过高的情况，而修复效果评估要采集网格中心的样品，常用手工钻的深度有限，因此为便于实际工作的开展，建议合理堆放高度。

7.6.3.4 检测指标

文本内容

【6.3.4.1】异位修复后土壤的检测指标为地块修复的目标污染物，若外运到其他地块，还应考虑可能对接收地环境产生不利影响的污染物。

编制说明

目前国内修复工程实施过程中，对于异位修复后的土壤，其目标污染物通常为本地块调查评估时基于本地块规划情景确定的，实际上异位修复后土壤不一定回填到原场地，例如有可能作为填埋场覆土等其他用途，此时应考虑接受地块关注的污染物，2015年北京市发布了《污染场地修复后土壤再利用环境评估导则》（DB11/T 1281-2015），规定了修复后土壤再利用环境评估的工作程序、方法、内容和技术要求，其目的就是防止土壤再利用时危害人体健康、污染周边土壤和地下水，适用于修复后土壤在非环境敏感区被再利用的评估。

文本内容

【6.3.4.2】化学氧化/还原、微生物修复后土壤的检测指标应包括产生的二次污染物。

编制说明

化学氧化/还原修复过程中，有可能产生二次污染物，原目标污染物的浓度被降低、风险被减小，但其二次污染物可能会带来新的风险，因此应予以关注。

【6.3.4.3】可增加土壤常规指标、修复设施运行参数等作为修复效果评估的依据。

编制说明

土壤修复效果与土壤常规指标、运行参数等关系密切，例如土壤原位气相抽提与土壤的渗透性和湿度、气相抽提流量、环境温度、蒸气压等影响较大，因此相关参数的变化均可作为修复效果评估的依据。

7.6.3.5 评估标准值

文本内容

【6.3.5.1】异位修复后土壤的评估标准值应该去其最终去向确定。

a) 若修复后回填到原基坑，评估标准值为地块调查评估与修复方案中确定的目标污染物的修复目标值。

b) 若修复后外运到其他地块，应考虑接收地土壤暴露情景确定评估标准值，可选择接收地土壤背景浓度和接收地用地性质对应的筛选值中较为保守的作为评估标准值。

【6.3.5.2】化学氧化/还原修复、微生物修复潜在二次产物的评估标准值可参照 GB36600 中一类用地筛选值执行，也可根据暴露情景进行健康风险评估确定其评估标准值。

编制说明

对于异位修复后的土壤及筛上物，其修复效果评估值应根据其最终去向确定，由于国家

层面上尚无再利用环境评估的技术导则，因此可选择接收地的背景浓度或者对应用地性质的筛选值，建议选择其中较为保守者作为评估标准值。

7.6.4 原位修复效果评估技术要点

7.6.4.1 评估范围

文本内容

【6.4.1.1】修复效果评估范围一般与地块修复方案中的修复范围一致。

【6.4.1.2】若由于地块利用方式变更、污染物毒性参数变化调整等影响修复范围的参数有变，应结合修复工程实际情况与管理要求，根据重新确定的修复目标值和修复范围调整修复效果评估范围。

【6.4.1.3】修复效果评估范围应包含潜在二次污染区域，潜在污染区域包括但不限于：.....

编制说明

对于原位修复，修复效果评估的范围一般主要为修复范围内部，由于修复过程可能造成其他区域污染而对环境和人体造成潜在风险，因应包含二次污染区域。



图 7 19 土壤原位修复效果评估对象示例

7.6.4.2 采样节点、频次和周期

文本内容

【6.4.2.1】原位修复后的土壤应在修复完成后进行采样。

【6.4.2.2】原位修复的土壤，可按照修复单元分区域采样。

编制说明

对于原位修复，修复设施的开启可能会影响周边区域，例如原位电加热、原位气相抽提等，因此建议若需要分区域开发，则可以按照修复单元分区域开展采样。

7.6.4.3 布点数量与位置

文本内容

【6.4.3.1】原位修复后的土壤横向上一般采用系统布点法，可采用推荐采样数量（表 1）；也可根据修复后土壤中污染物浓度分布特征参数计算修复差变系数，根据不同差变系数查询计算对应的推荐采样数量（表 3），差变系数计算方法见附录 B。

【6.4.3.2】原位修复后的土壤垂向上采用判断布点法，采样深度应覆盖污染深度。

【6.4.3.3】应结合地块污染分布、土壤性质、修复设施设置等，在高浓度污染物聚集区、修复效果薄弱区设置采样点。

编制说明

原位修复后土壤，国外常见两种方法，一种考虑横向与纵向，一种将修复范围直接作为堆体，前者较便于工作的开展，同时能兼顾横向与纵向关注的重点，所以本标准做此推荐，同时建议水平向上原则上布点密度参考基坑的布点密度。

土壤原位修复的差异性不止受制于污染物分布与修复设施设置，也与土壤性质、水文地质情况息息相关，多种条件作用下，更需考虑其不均一性，并关注其修复薄弱区。

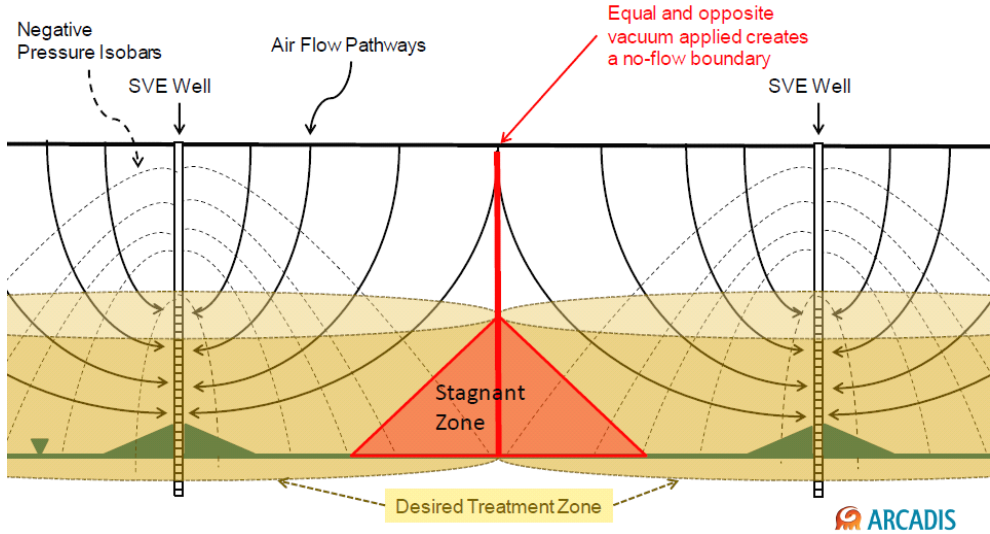


图 7 20 土壤气相抽提修复薄弱区示意图

7.6.4.4 检测指标

文本内容

【6.4.4.1】原位修复后土壤的检测指标为地块修复的目标污染物。

【6.4.4.2】化学氧化/还原修复、微生物修复后土壤的检测指标应包括产生的二次污染物。

【6.4.4.3】必要时可增加土壤常规指标、修复设施运行参数等作为修复效果评估的依据。

编制说明

原位修复情景下，土壤仍在原场地，因此其检测指标即为地块调查评估和修复方案中确定的目标污染物。

化学氧化/还原修复过程中，有可能产生二次污染物，原目标污染物的浓度被降低、风险被减小，但其二次污染物可能会带来新的风险，因此应予以关注。

土壤修复效果与土壤常规指标、运行参数等关系密切，例如土壤原位气相抽提与土壤的渗透性和湿度、气相抽提流量、环境温度、蒸气压等影响较大，因此相关参数的变化均可作为修复效果评估的依据。

7.6.4.5 评估标准值

文本内容

【6.4.5.1】原位修复后土壤的评估标准值原则上为地块调查评估与修复方案中确定的目标污染物的修复目标值。

编制说明

由于原位修复后土壤仍在本地块，因此其修复效果评估标准值即为其修复目标值。

文本内容

【6.4.5.2】化学氧化/还原修复、微生物修复潜在二次产物的评估标准值可参照 GB36600 中一类用地筛选值执行，也可根据暴露情景进行健康风险评估确定其评估标准值。

编制说明

化学氧化/还原技术产生的二次污染物可能会对人体或环境改造成危害，建议根据暴露情景计算其二次污染物的限值，若未开展风险评估，则参照《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》中筛选值。

7.6.5 现场采样与实验室检测

文本内容

土壤修复效果评估现场采样与实验室检测按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 的规定执行。

编制说明

修复效果评估阶段的现场采样和实验室检测与调查评估阶段的要求相同，因此本章节的技术环节主要参照国内已有导则执行。

7.6.6 土壤修复效果达标判断

文本内容

【6.6.1】可采用逐一对比和统计分析的方法进行土壤修复效果评估。

编制说明

编制组通过文献调研和案例研究，总结了修复效果评估中常用的统计分析方法，列出了逐个对比、统计分析、误差分析各方法的适用条件、评估要求，并在附录中给出了计算方法。

在目前已经开展的修复效果评估工作中，常采用逐一对比方法，即将污染物检测结果与修复目标值逐个对比，若检测结果小于修复目标值，则认为场地达到修复目标；若检测结果大于修复目标值，则认为场地未达到修复目标，需进行进一步修复。在实际工作中发现，个别检测结果较高，有可能是采样区域确实仍然存在污染（本质不同），也有可能是采样和实验室分析误差，而逐一对比方法忽略了后者的影响，扩大了未达标点的影响。因此将检测值与修复目标进行比较时，如何区分与判断样本间差异是采样与分析误差造成的，还是本质不同引起的，是目前修复效果评估迫切要解决的问题。另外，目前污染地块修复效果评估一般要求所有检测结果均小于修复目标。实际上，随着样品数量的增加，出现不达标样品的概率将增加。受成本和时间等因素的制约，实际修复效果评估中，采样数目是有限的，即使全部抽样样品都达标的情况下，也不能保证场地内土壤均能达标。因此，通过有限采样的方法进行修复效果评估，实质上仍属于概率统计问题。

文本内容

【6.6.2】当样品数量少于 8 个时，应将样品的检测值与评估标准值逐个对比。

- a) 若检测值低于或等于评估标准值，则认为达到修复效果；
- b) 若检测值高于评估标准值，则认为未达到修复效果。

【6.6.3】当样品数量大于等于 8 个时，可在修复单元内采用统计分析方法进行修复效果评估。一般采用样品均值的 95%置信上限与果评估标准值进行比较，符合下述条件可认为地块达到修复效果，否则认为未达到修复效果。

- a) 样品均值的 95%置信上限小于等于修复效果评估标准值；
- b) 样品浓度最大值不超过修复效果评估标准值的 2 倍；
- c) 超过评估标准值的样品不集中在某个区域。

编制说明

场地污染导致的健康风险一般指的是长期慢性暴露行为，对于污染面积较大的场地，应从总体上评估污染状况。在污染调查中，一般推荐用污染介质采样浓度的 95%置信区间上限值（Upper Confidence Level，简称 UCL）来反映场地土壤的总体污染水平，即当平均浓度的 95%置信上限值超过可接受风险水平时，场地需要修复，否则视场地为安全。对于污染场地修复效果评估而言，应采用同样的方法对修复效果进行评估：若样品均值的 95%置信上限大于修复目标，则认为场地未达到修复标准。若样品均值的 95%置信上限小于等于修复目标，则认为场地达到修复标准。国外已将统计方法运用到修复效果评估中。

◆ 美国环保局 1996《场地清理达标评估方法——土壤、固废、地下水（卷1, 2, 3）》

本指南中提出：只有充分的数据证明污染物残余浓度低于适当的修复目标值或限值，方可认为场地清理干净，并且统计方法对于做出推断是重要的。

如果能采用适当的统计分析方法，则可以为修复效果的达标判断提供更有力的证据，统计方法可以客观地处理土壤中污染物浓度分布的不均一性，提供定量的、基于数据分布的决策。尽管不能保证所有的决策都正确，统计方法可以将决策错误率限制在决策者可接受的范围内。

只要数据达到要求，可运用统计方法。若统计方法表明已达到修复目标，则编制报告并阐述统计过程、结果等内容；如果统计方法表明未达到修复效果，可能需要补充采样来识别未达标区域，之后进行补充修复，如此循环。统计分析方法包括：基于均值的 UCL；基于上百分位数的 UCL；基于超标比例数的 UCL；超过标准值的数据数量等。

◆ 美国环保局 1989《清理标准达标评估方法卷1：土壤和固废》

本指南规定了采样点位置的确定、检测结果的统计分析、修复效果的评价等技术要点，具体就修复效果评价而言，阐述了采样数量计算方法与评估分析方法，包括将整体样本均值的95%置信上限与修复目标进行比较、统计低于修复目标值的样本比例等方法。

◆ 美国环保局 1992《清理标准达标评估方法卷3：基于对照场地的土壤和固废》

本指南提出必要时将场地分为“干净单元”并运用统计方法将每一个单元进行分析确认是否可以关闭，对于每一个单元，采样在三角等边网格采样，并对比了适用的统计方法，包括秩和检验、分位数检验和热测量。

◆ 美国怀俄明州2000《土壤确认采样指南》

对于面积小于等于 10000 平方英尺（930 m²）的区域，采用逐个对比的方法，若有检测值超过修复目标值，则认为场地未达到修复标准，需要进行进一步修复合约验收；对于面积大于 10000 平方英尺（930m²）的区域，则采用统计分析方法，用整体均值的 95%置信上限与修复目标比较，分析整个场地的修复效果，并提出在整体达标的情况下，允许一个或多个采样点的检测数据超过修复目标值。

文本内容

【6.6.4】若采用逐个对比方法，当同一污染物平行样数量≥4 组时，可结合 t 检验方法，分析采样和检测过程中的误差，确定检测值与修复效果评估标准值的差异。t 检验方法见附录 C。

a) 若各样品的检测值显著低于修复效果评估标准值或与修复效果评估标准值差异不显著，则认为该地块达到修复效果；

b) 若某样品的检测结果显著高于修复效果评估标准值，则认为地块未达到修复效果。

编制说明

平行样分析采样过程和实验室分析带来的误差在环境调查中已经得到广泛应用，对于小样本数据（如 $n < 50$ ），t 检验是一种常用的方法。在污染场地修复验收中，将平行样数据进行标准化，使其符合正态分布或对称分布，然后采用 t 检验方法分析采样点的检测结果与修

复目标的差异是否显著，可判断超标点所在区域是否确实仍然存在污染。若各样本点的检测结果显著低于修复目标值或与修复目标差异不显著，则认为样本点检测结果超标是由于采样和分析误差引起的，该场地达到修复效果；若样本点检测结果显著高于修复目标，则认为场地仍然存在污染，未达到修复效果。 t 检验计算方法和案例在附录中列出。

文本内容

【6.6.5】对于低于报告限的数据，可用报告限值数值进行统计分析。

编制说明

在实际工作中发现，若大多数数据未检出，没有具体数值则无法进行统计分析，此种情况下多采用报告限值数值进行统计分析。

7.7 地下水修复效果评估

7.7.1 地下水修复效果评估工作程序

文本内容

地下水修复效果评估的工作程序为：在更新地块概念模型的基础上，确定采样节点，制定布点和采样方案，明确评估范围、采样频次和周期、布点数量与位置、检测指标、评估标准值，开展现场采样与实验室检测，进行修复效果评估。

当地下水中目标污染物逐点稳定达到评估标准值时，方可认为地块达到修复效果；若未达到评估标准值但判断达到修复极限，可在实施控制措施的前提下，启动残留污染物风险评估。若地块残留污染物对未来受体和环境的风险可接受，则认为可达到修复效果，应根据情况提出后期环境监管建议并编制修复效果评估报告，若风险不可接受，则需要对控制措施进行优化。

地下水修复效果评估工作程序见图 4。

编制说明

◆ 美国环保局1992《场地清理达标评估方法卷2：地下水》

本指南主要针对地下水修复效果评估给出了工作程序和评估方法。提出在验收开始前，必须确定场区地下水流场已经恢复到稳定状态，包括天然的水位和径流模式等；采样和分析计划需要与选取的统计分析方法配合制定；并提出了对于异常值和未检出值的使用方法，以及采样频次。

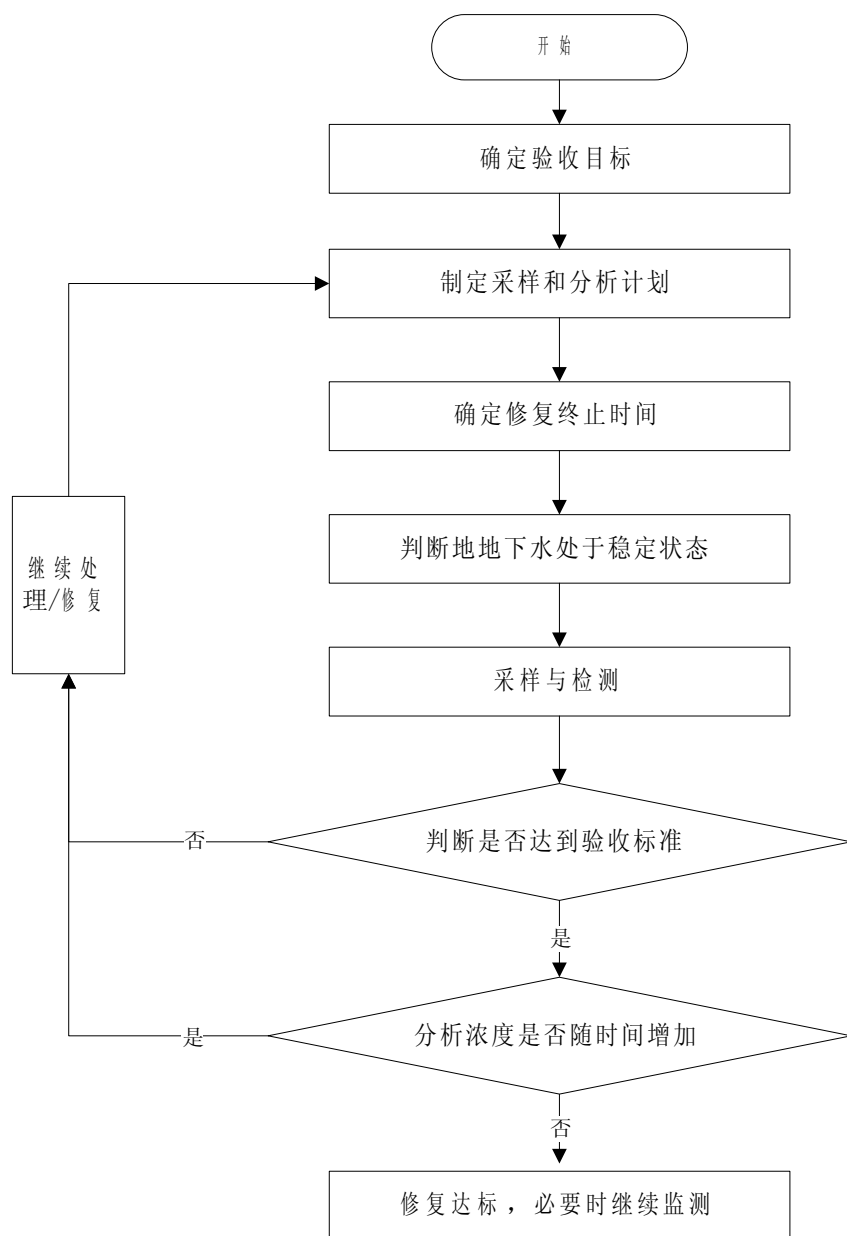


图 7 21 美国地下水修复效果评估工作程序

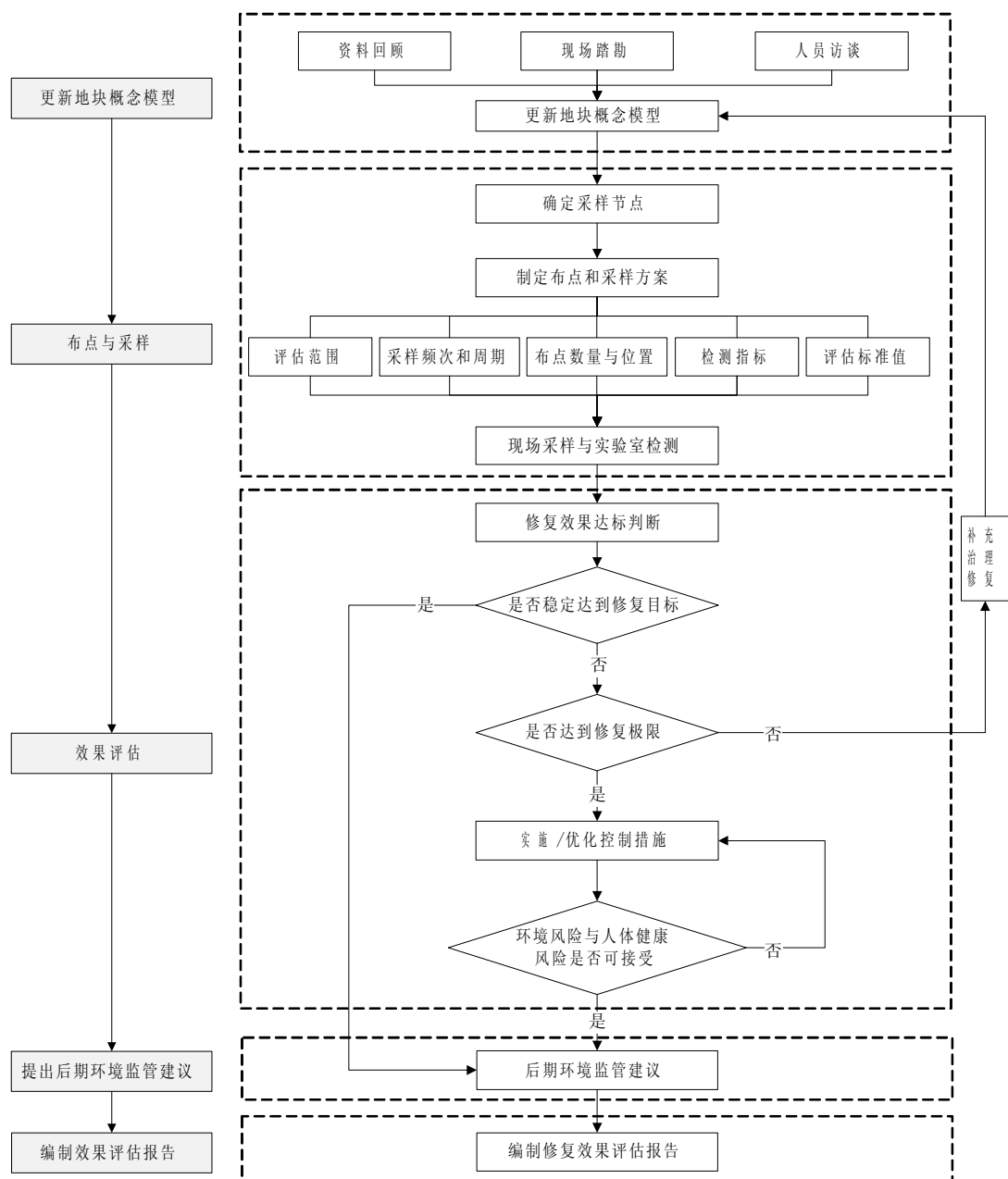


图 7 22 本标准污染地块地下水修复效果评估工作程序

7.7.2 地下水修复效果评估技术要点

7.7.2.1 评估范围

文本内容

【7.2.1.1】地下水修复效果评估的范围包括地下水修复范围上游、内部、下游，以及修复可能涉及的两侧扩散区域等潜在二次污染区域。

编制说明

地下水可能会改变污染羽的范围，例如抽出-处理、空气注入等会对污染羽造成扰动，因此地下水修复效果评估的范围应基于地块修复概念模型确定，包括其内部及上下游，特别

是潜在二次污染的区域。

文本内容

【7.2.1.2】若由于地块利用方式变更、污染物毒性参数变化或调整等因素致使修复范围有变，应结合修复工程实际情况与管理要求调整修复效果评估范围。

编制说明

原则上，修复效果评估阶段的评估范围是需要开展治理与修复的区域，有些情况下可能会涉及修复范围的调整，例如 2017 年初苯并(a)芘毒性参数的调整引起修复目标值的变化从而可能需要调整修复范围，个别地块在修复阶段可能会涉及规划利用条件变更，也涉及修复范围的调整。本标准考虑此项因素，以期使修复效果评估具有客观性。

7.7.2.2 采样节点

文本内容

【7.2.2.1】须初步判断地下水到达修复目标且达到稳定状态时，方可开始修复效果评估阶段采样。修复效果评估采样节点见图 5。

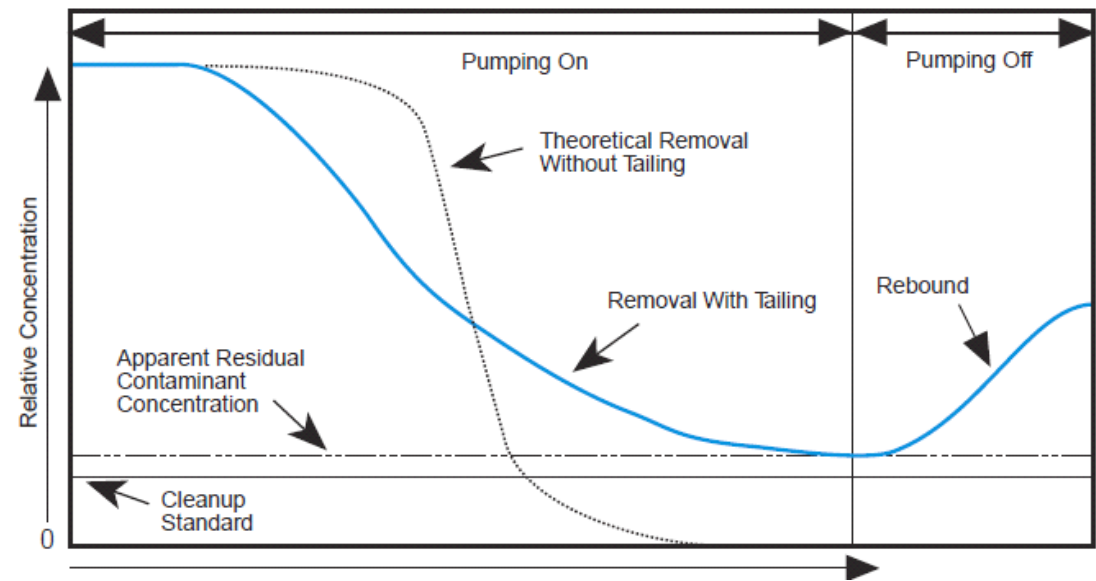
【7.2.2.2】地下水达到修复目标且达到稳定状态的判断依据包括：

- a) 地下水流场稳定 :.....
- b) 污染物浓度稳定 :.....

编制说明

(1) 反弹问题

根据理论研究与工程实践，地下水修复往往出现修复效果反弹的问题，见下图。因此在何时的采样数据方可作为最终效果评估的依据，是地下水修复效果评估的难点之一。



来源：《Methods from monitoring pump-and-treat performance. EPA 1994》

图 7 23 地下水抽出-处理修复的反弹现象

（2）国内外经验

此处主要参考美国关于地下水验收的指南，其中最主要的文献及其内容如下：

◆ 美国环保局 1989《场地清理达标评估方法卷2：地下水》

一般情况下，地下水修复实施后污染物浓度变化可参见下图。根据修复实施后污染物浓度变化示意图：③为修复工程结束节点（修复设施停止运行）；③~④为修复设施停止运行后土壤和地下水中污染物有可能出现的反弹和拖尾阶段，在此阶段需要阶段性的检测来证明修复效果是否反弹；若污染物浓度趋势证明未超过修复目标值，则可进入⑤~⑥验收采样阶段，此阶段的主要目的是证明污染物浓度是否稳定低于修复目标值，污染物趋势被证明稳定低于修复目标值方可得到场地修复达标的结论。因此，地下水修复停止运行后，修复验收周期需包含两个阶段：③~④证明修复达标；⑤~⑥证明修复效果稳定达标。

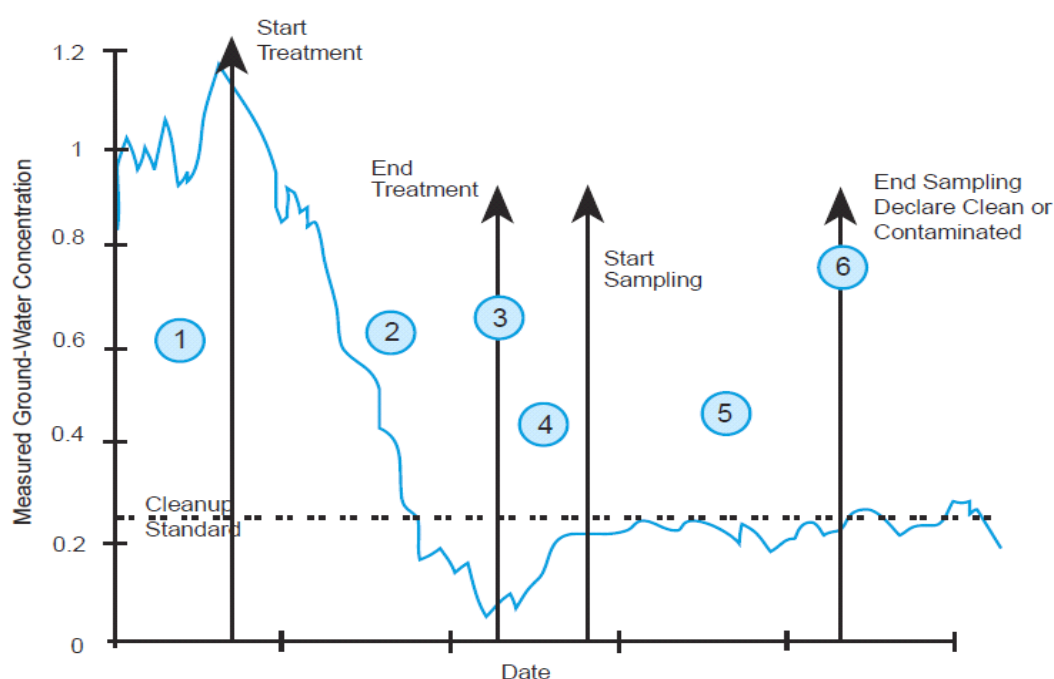


图 7 24 地下水修复实施过程污染物浓度变化示意图

地下水验收采样工作开始前需确定地下水修复活动已经终止、并须判断地下水处于稳定状态，见下图工作程序。地下水修复活动终止时间一般基于有效的数据、水文地质学家专业判断、地下水监测结果和模型确定。

地下水处于稳定状态主要依据统计分析、地下水模型、以及对本场地情况熟悉的水文地质学家的意见，需同时达到两方面要求：地下水水位、流量、季节变化等指标与修复活动开展前基本相同；若修复活动改变了地下水系统，则需要达到预期的稳定状态，且修复活动的后续影响相对于季节变化可忽略。污染物浓度的统计特征（均值、标准差）不随时间发生较大的波动。地下水稳定状态后的采样检测数据方可作为修复效果评估的依据。

◆ OSWER 2014《评估地下水修复措施完成的推荐方法》

地下水监测包括修复达标初判和修复效果评估两个阶段，修复效果评估必须在确定修

复监测阶段评估地下水污染物浓度达到稳态时方可开始。地下水污染物浓度达到稳态的确定方法如下：通过非统计或图示方法进行数据分析，若监测值均为未检出或部分未检出，部分低于修复目标值，则可直接确定地下水污染物浓度达到修复目标值；若部分监测值高于修复目标值，则应采用均值检验或趋势检验的方法确定地下水污染物浓度是否达到修复目标值。

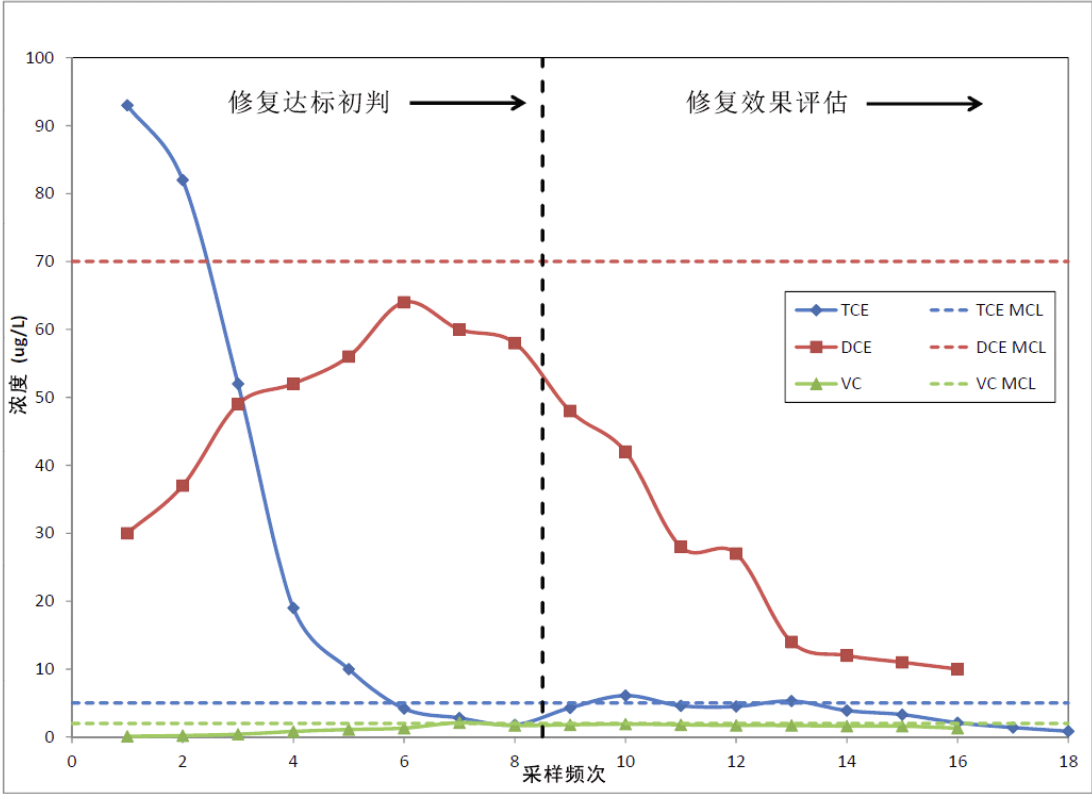


图 7 25 地下水修复达标初判与修复效果评估阶段划分

例如《污染场地修复技术目录》（第一批）原位化学氧化/还原技术的运行与检测章节：“监测包括修复过程监测和效果监测。修复过程监测通常在药剂注射前、注射中和注射后很短时间内进行，监测参数包括药剂浓度、温度和压力等。若修复过程中产生大量气体或场地正在使用，则可能还需要对挥发性有机污染物、爆炸下限（LEL）等参数进行监控。效果监测的主要目的是依据修复前的背景条件，确认污染物的去除、释放和迁移情况，监测参数为污染物浓度、副产物浓度、金属浓度、pH、氧化还原电位和溶解氧。若监测结果显示污染物浓度上升，则说明场地中存在未处理的污染物，需要进行补充注入。”

(3) 本标准要求

参考美国的经验，本技术导则将地下水修复监测分为修复达标初判阶段和修复效果评估监测两个阶段，须根据地下水修复达标初判阶段数据判断地下水修复终止且达到稳定状态时，方可开始修复效果评估采样。

地下水稳定状态的判断依据包括地下水流场稳定与污染物浓度稳定达标。

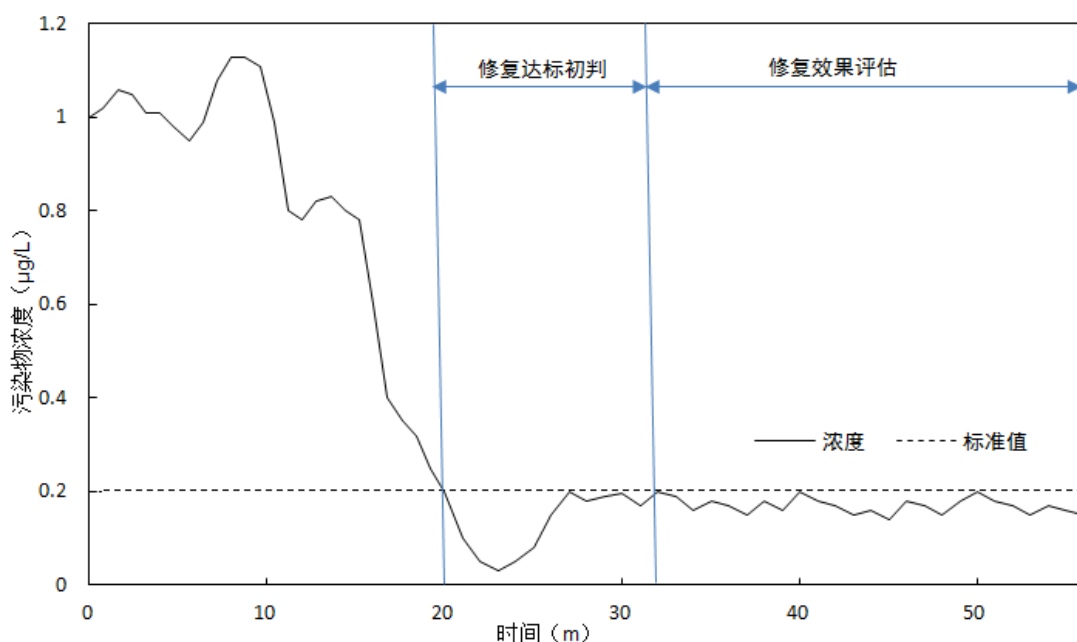


图 7 26 地下水修复效果评估采样节点示意图

文本内容

【7.2.2.3】建议最少采集 4 个批次样品进行修复达标初判，采样周期应涵盖地下水丰、平、枯水期。

【7.2.2.4】建议每个季度采样一次，两个批次之间间隔不得少于一个月。

编制说明

此处主要参考美国 OSWER 2014《评估地下水修复措施完成的推荐方法》，考虑可操作性与技术导则编制的要求，确定上述三项条目。美国指南中规定：“最小样本量的确定是基于现有的地下水监测和统计学规律来确定的。由于修复监测阶段并不是地下水监测井的最终决策点，该阶段所采用的最低样本量可以通过图示或者统计评估方法(趋势检验或均值检验)做出，因此建议这一阶段的最低样本量为 4 个，对于正态分布而言，4 个样本足以反映地下水污染情况。达标检验阶段的决策对于地下水最终达标的决策更为重要，需要确保目前地下水达标且未来持续达标，建议最低样本量为 8 个，以确保图示或者统计评估方法(趋势检验或均值检验)的有效性。尽管上述两个阶段都推荐了最低样本量，但是应考虑具体场地的条件和采用的统计方法及其置信区间，确定合适的样本量。

地下水采样频率和采样持续时间应根据具体场地的水流条件来确定，如水力梯度、渗透系数、季节变化和其他因素等。采样频率应确保有足够的数用于修复监测和达标监测评估，同时应避免采样间隔过长，许多场地采用季节性采样频率。同时采样频率应确保蓄水层的代表性样品，并且建议以每月一次作为最短的时间间隔。”

7.7.2.3 采样周期和频次

【7.2.3.1】地下水采样频率和周期应根据地下水修复方式及其地块水文地质条件来确

定，如水力梯度、渗透系数、季节变化和其他因素等确定。

【7.2.3.2】修复效果评估阶段建议最少采集 8 个批次样品，采样周期应涵盖地下水丰、平、枯水期。

【7.2.3.3】建议每个季度采样一次，两个批次之间间隔不得少于一个月。

编制说明

同上一条解释。

7.7.2.4 布点数量与位置

文本内容

【7.2.4.1】地下水采样点设置在修复范围内部及其上游和下游。

【7.2.4.2】地下水采样点原则上应优先设置在修复设施运行薄弱区、污染源浓度高的区域、水文地质条件不利的区域。

【7.2.4.3】可充分利用地块调查评估与修复实施等阶段设置的监测井，现有监测井应符合修复效果评估采样条件。

编制说明

（1）国内地下水布点要求

◆ 原环保部 2014 《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》

基本上沿用北京市导则的规定“6.2.4.2 地下水采样布点要求：应依据地下水流向及污染区域地理位置设置地下水监测井，修复范围上游地下水采样点不少于 1 个，修复范围内采样点不少于 3 个，修复范围下游采样点不少于 2 个。原则上监测井布设在地下水环境调查确定的污染最严重的区域，或者根据不同类型的修复（防控）工程进行合理的布设。

由于地下水监测井建井较为繁琐，并有可能对地下水造成扰动，因此规定原则上可以利用场地环境调查评估和修复时的监测井，但原监测井的使用数量不应超过验收时总监测井数的 60%。未通过验收前，被验收方应尽量保持场地环境调查评估和修复过程中使用的地下水监测井完好。”

◆ 北京市 2011 《污染场地修复验收技术规范》（DB11/T783-2011）

地下水监测井应依据地下水的流向及污染区域地理位置进行设置，修复范围上游地下水采样点不少于 1 个，修复范围内采样点不少于 3 个，修复范围下游采样点不少于 2 个。

可利用场地环境评价和修复过程建设的监测井，但原监测井数量不应超过验收时监测井总数的 60%。

◆ 其他省市

其他省市的修复效果评估阶段地下水监测井的设置基本上沿用北京市的方法和数量，部分省市已经考虑到需要兼顾修复效果薄弱区。

（2）本标准要求

考虑到地下水修复技术的不同、修复设施设置间距的不同、地块水文地质条件的差异，

本标准编制过程中不再对地下水监测井的数量做要求，只要能满足地下水修复效果评估的要求即可；并且只要是地块内可以使用的监测井，均可作为修复效果评估的采样井。但监测井应优先设置在最不利的区域，例如修复设施运行薄弱区、污染源浓度高的区域、水文地质条件不利的区域等。

7.7.2.5 检测指标

文本内容

【7.2.5.1】地下水的检测指标一般为地下水修复方案中确定的指标。

【7.2.5.2】化学氧化/还原、微生物修复后地下水的检测指标应包括产生的二次污染物。

编制说明

此处同土壤原位修复的相关要求。

文本内容

【7.2.5.3】可增加地下水常规指标、修复设施运行参数作为修复效果评估的依据。

编制说明

地下水修复效果与其他参数和指标息息相关，例如化学氧化/还原反应受 pH 值影响较大、抽出-处理受含水层厚度影响较大等，因此相关参数的变化均可作为修复效果评估的依据。

7.7.2.6 评估标准值

文本内容

【7.2.6.1】修复后的地块内地下水评估标准值为地块调查评估与修复方案中确定的污染物的修复目标值。

【7.2.6.2】若暴露情景有变，应根据实际情况调整效果评估标准值。

编制说明

经过地下水修复后的地块应能满足地块开发利用的要求，因此其地下水中污染物应为本地块调查评估和修复方案确定的目标污染物的目标值，若由于开发情景、建筑情景等的变化造成土壤暴露情景有变，应根据实际情况进行调整。

文本内容

【7.2.6.3】化学氧化/还原技术二次产物的评估标准值可参照 GB/T 14848 中的 III 类标准值执行，也可根据暴露情景进行健康风险评估确定其评估标准值。

编制说明

化学氧化/还原技术产生的二次污染物可能会对人体或环境改造成危害，建议根据暴露情景计算其二次污染物的限值，若未开展风险评估，则参照 GB/T 14848 中的 III 类标准执行。

7.7.3 现场采样与实验室检测

文本内容

地下水修复效果评估现场采样与实验室检测按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 的规定执行。

编制说明

修复效果评估阶段的现场采样和实验室检测与调查评估阶段的要求相同，因此本章节的技术环节主要参照国内已有导则执行。

7.7.4 地下水修复效果达标判断与评估

7.7.4.1 地下水修复效果达标判断

文本内容

【7.4.1.1】原则上每口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。若未达到修复效果，应对未达标区域开展补充治理和修复。

【7.4.1.2】持续稳定达标可采用趋势分析法进行判断，在 95% 的置信水平下，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。均值检验与趋势检验案例见附录 D。

- a) 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；
- b) 地下水中污染物浓度呈现上升趋势，则判断地下水未达到修复效果。

编制说明

综合地下水修复工程实施情况，参考国外文献，本标准要求地下水中污染物浓度原则上应逐点达标并稳定达标。关于稳定达标可采用趋势分析方法，例如 OSWER 2014《评估地下水修复措施完成的推荐方法》中规定：地下水关注污染物达标稳态评估方法为当数据服从正态分布或者可以转换为正态分布，可以采用参数时间趋势分析；若时间不服从正态分布，则可以采用非参数时间序列分析。当若趋势线斜率与 0 无显著差异或显著小于 0，则说明地下水关注污染物浓度呈现稳态或者下降趋势，则可以断定地下水关注污染物浓度将持续达标；若趋势线斜率显著大于 0，即趋势线呈现上升趋势，则地下水关注污染物浓度存在反弹的情况，仍需要进行达标监测。若置信上限低于修复目标且趋势线斜率与 0 无显著差异或者显著小于 0，这说明地下水已达标。当每一监测井的所有关注污染物达标监测均完成后，还应考虑监测井的未来用途。在一些情况下，还需在一定时间间隔内进行井的监测以确保监测井的达标，直到井的解除。导则附录 D 给出了趋势检验和均值检验的方法，并给出了案例。

7.7.4.2 判断修复极限与实施控制措施

文本内容

【7.4.2.1】对于地下水治理和修复，若未达到评估标准，但判断地块地下水已达到修复极限，可在实施控制措施的前提下，对残留污染物进行风险评估。

【7.4.2.2】须同时满足下列条件方可判断地下水修复达到极限：

- a) 地块概念模型清晰，地下水修复范围及其周边监测并可充分描述修复实施情况；
- b) 现有修复工程设计合理，并在实施过程中得到有效的操作和足够的维护；
- c) 通过概念模型和监测资料等，可说明现有修复技术继续实施不能达到预期目标；
- d) 通过文献资料 and 地块特征分析、以及必要时采取实验室和现场测试，证实不存在适用于本地块的其他修复技术。

【7.3.2.3】控制措施包括水力控制、工程阻隔、制度控制等。

编制说明

大量修复项目，特别是地下水修复经验表明，虽然一开始修复能使其得到很大程度的改善，但是当修复活动进入拖尾期后，再多时间和资源的消耗，都很难使残留污染物去除，土壤和地下水水质往往难以达到相应的标准。在此情况下，可在建立与完善场地概念模型的基础上，根据样品检测结果、场地水文地质条件、场地未来的开发方案，表征场地中残留污染物的空间分布、污染物与未来受体的相对位置关系以及未来受体潜在的风险暴露途径，对场地污染物的残余健康风险进行分析预测，避免过度修复。相关文献对此进行了阐述。

◆ 美国2011《超级基金场地地下水修复推荐程序》

本文件为超级基金地下水修复涉及的法规、导则、政策、指南等的梳理和汇总，其中“4 technology or remedy modification”环节阐述了若修复期间数据分析和概念模型证明修复技术不能达到修复目标，则需要改变修复技术或综合修复措施。修改步骤包括：评估修复潜在可能性、评估是否现有修复目标和相应的清理标准值有其他技术可达、修改修复目标并选择其他修复策略、记录技术不可实施性（technical impracticability）评估过程。如果其他技术可用或修复目标可以修改，则所在区域需要执行改进的修复策略。

步骤一：评估修复潜在可能性：

一般包括评估源控制方法、修复活动分析、修复时间表分析、考虑其他技术、以及其他事项。修复技术性能分析包括：

- ✧ 证明地下水污染羽及其监测足够描述修复情况，例如污染迁移、浓度变化等；
 - ✧ 证明现有技术已经得到有效的操作和足够的维护；
 - ✧ 描述和评估对修复技术的修改（包括运行变更、物理变化、系统扩大）是否可以增强修复运行；
 - ✧ 分析污染羽范围是否减少、污染物浓度降低速率和污染源去除等；
- 还应包括：
- ✧ 鉴定候选技术的文献资料；
 - ✧ 基于场地特征的候选技术筛选；

✧ 根据场地水文地址和化学数据分析其他可用技术能否达标。

若评估修复潜能后证明未达标是由于系统设计不足、系统操作不善、场地条件不适宜引起的，EPA 将要求改进现有修复技术或用其他技术取代。

步骤二：评估是否现有修复目标和清理标准值有其他技术可达：

基于第一步分析，需要决定是否还有其他技术可以达到修复目标，包括两种情形：其他行动可以达到现有修复目标和相应的清理标准值，则修改现有技术或选择新的技术；没有其他行动可以达到，则可以修改目标值（步骤三）；

步骤三：修改修复目标和相应的清理标准值并选择修复技术：

“超级基金场地在合理的时间内未达修复目标且技术不可达则可以改变修复目标，在这种情况下，EPA 将选择一个技术可行、保护人体健康和环境、符合法规要求的修复策略”。修复策略需要满足以下条件：（1）通过制度控制防止污染地下水的暴露；（2）通过治理和围堵等源修复和控制；（3）通过治理、围堵和自然衰减污染羽得到修复。

记录技术不可达性（technical impracticability）评估过程：

记录基于场地特征信息进行的修复技术不可达性评估，一般包括以下信息：

- ✧ 更新的场地概念模型
- ✧ 涉及技术不可达性的范围
- ✧ 评估场地修复潜能及其结论
- ✧ 现有修复技术和替换技术的成本估计
- ✧ 其他 EPA 需要的信息。TI 的结论（包括变更修复策略等）必须作为超级基金决策过程记录的一部分或者修改内容的一部分。

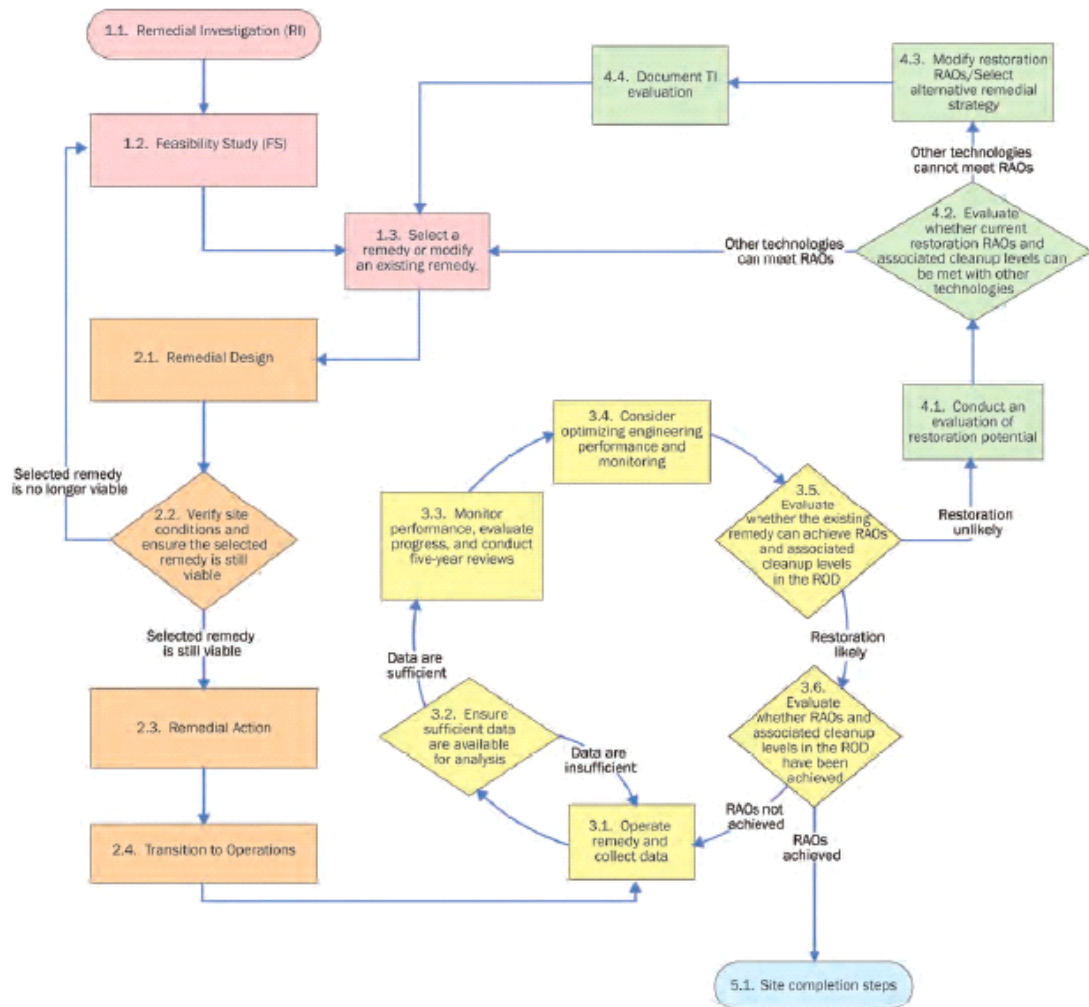


图 7 27 超级基金场地地下水修复路线图

◆ 美国2009《现行地下水修复政策摘要》

总结了美国地下水修复的五项原则：

- (1) 如果目前或未来将饮用水的地下水超过目标值，必须进行修复
- (2) 地下水中的污染物不允许迁移或扩大污染范围或到其他介质中，例如建筑蒸汽入侵、地表水等
- (3) 在适当的情况下，如果符合法定标准，当地下水修复不可行的情况下，可考虑技术上不可行的免责和其他免责，但必须得到科学的支持和明确的文件。
- (4) 早期的行动，例如源去除、污染羽等都需要考虑，与地下水使用有关的制度控制对短期和长期保护是有用的。
- (5) 修复需要达到所有途径的暴露对人体和环境不产生危害。

◆ 新泽西《地下水修复技术指南》

本指南指出，在一些情况下，达到相关的标准可能是不可行的，取决于场地污染物的种类和浓度、污染介质、修复技术的可获得性、以及污染水平已经降低但达到渐进水平后继

续修复的成本，通过运行的数据表明，继续去除污染物与时间和资源的消耗难以对应。一些情况下，可以通过优化修复方案改进修复系统的修复效果，但有时受限于技术实施、经费难以优化修复方案，则可以通过控制污染羽的迁移等控制措施来进行地下水污染管理。

7.7.4.3 残留污染物风险评估

文本内容

【7.4.3.1】残留污染物风险评估包括以下工作内容：

- a) 更新地块概念模型：掌握风险管控与修复后地块的水文地质条件、污染物空间分布、潜在暴露途径、受体等，考虑控制措施设置情况，更新地块概念模型，具体参照第5章。
- b) 分析残留污染物环境风险：判断地块内 NAPL 等已清除、污染源浓度降低或趋于稳定、污染羽范围逐渐缩减、地下水中污染物存在自然衰减，地下水使用途径暂无改变。
- c) 开展人体健康风险评估：残留物污染物人体健康风险评估可参照 HJ 25.3 执行，相关参数根据地块概念模型取值。对于挥发性污染地块，可设置土壤气监测井采集土壤气样品辅助开展残留污染物风险评估。

编制说明

◆ 加州 2010《地下储油罐低风险结案政策》

加州水资源控制局 92-49 决议规定，地下储油罐（Underground Storage Tank，简称 UST）泄露污染的地下水必须在一定合理的时间内恢复至背景值水平，若其无法恢复至背景值水平，则恢复至所能达到的最佳水平。但是，由于受修复技术和经济条件的限制，地下水恢复到背景水质或相应加州地下水水质标准往往很难实现。大量地下水修复项目经验表明，虽然一开始地下水修复能使其得到很大程度的改善，但是当修复活动进入拖尾期后，再多时间和资源的消耗，都很难使残留污染物去除，地下水水质往往难以达到相应的标准。另一方面，在 UST 泄露场地的研究表明，石油烃能够通过吸附、解吸、稀释、挥发以及生物降解作用进行自然衰减，从而降低了污染羽的迁移，减小了对人类健康与环境的威胁。综合以上两点，鉴于地下水修复在技术和经济上的困难，同时考虑地下水具有自然降解的功能特点，加州地下水管理部门根据过去 25 年里对 UST 泄露场地的调查与修复经验，制定了“地下储油罐低风险结案政策”。地下水修复活动的目标是使地下水质量达到对人体健康与环境安全无影响的水平，而地下水完全恢复到背景浓度或者相关地下水质量标准，将依靠地下水中污染物的自然衰减作用。如此，既保护了人体健康和环境安全，同时又减少了不必要的经济浪费。

由于“低风险结案政策”相对于原有的地下水结案标准来说，具有较大的变革。出于谨慎原则，目前加州仅用于地下储油罐泄露造成的地下水污染，该政策不包括其他地下水污染场地，甚至不包括输油管线泄露与地上储油罐泄露。为了确保结案后地下水污染羽不会进一步向清洁区域扩散，污染物可以依靠自然降解作用逐渐达到相应地下水标准，该政策对污

染物的组成、污染源状态等做了相关规定。“低风险结案政策”分别对地下水、土壤气和土壤中的污染物浓度标准做出了相应规定，只有同时满足三种标准要求，才认为该场地对人体健康风险较低，场地具备可以结案的条件：首先，要求地下水中污染羽状态稳定或逐渐衰减，一般通过在污染羽下游边缘附近地下水监测井中污染物浓度保持不变或逐渐减小的现象来判定；场地受有机污染气体入侵的风险较小，即地下储油罐泄露场地满足所列 4 种情景之一，或风险评价结果显示场地风险满足管理部门要求，或通过政策管理或风险管控手段使污染气体入侵风险降低到不再对人体健康造成威胁；土壤中污染物浓度不对人体和环境产生危害。

地下储油罐“低危害结案政策”的基本要求：

- a. 该地下储油罐污染场地是位于公共供水区内
- b. 污染物仅是石油烃产品
- c. 地下储油罐系统的泄漏已被发现和堵住
- d. 浮油已被尽可能地清理到最大限度
- e. 该污染的概念模型（含污染特征，范围，污染物的迁移性等）已完成
- f. 次生污染源已被清理到最大限度
- g. 土壤和地下水样品已测过甲基叔丁乙基醚（MTBE），其结果符合健康和安全法

25296.15 章节的要求

- h. 健康和安全法 13050 章节中提到的滋扰该场地不存在

结案公告发送给各相关部门，若 60 日内无异议反馈，管理部门会将该场地结案通知公示 30 日，并正式宣布该场地结案。结案后的场地无需继续监测。

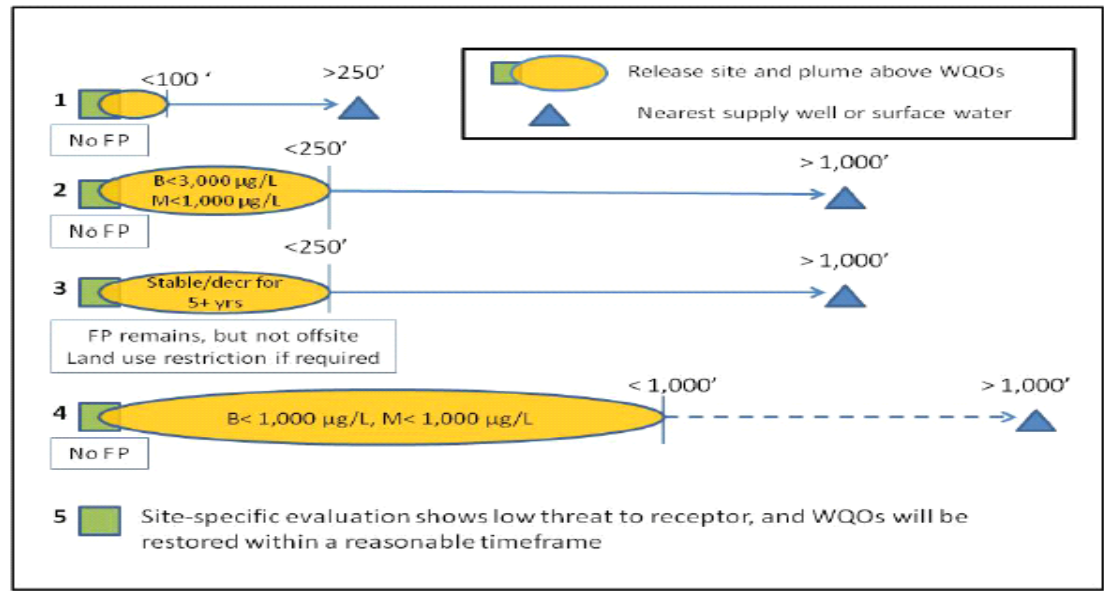


图 7 28 加州低风险结案地下水污染羽分类

◆ 空军工程与环境中心 2012《场地低风险结案指导手册》

本指南可以应用于石油燃料、氯化溶剂、重金属等地下水污染修复场地，以帮助场地

管理者管理低风险场地，为其提供足够的证据关闭低风险场地或降低长期监测频次。本指南可帮助管理者或所有者掌握场地的信息，包括低风险场地情况、为何不会对未来环境产生影响、为何能关闭或减少监测频次。

本指南旨在提供一个判断关闭可能性的方法，并基于危害标准进行评估和排序：

类型 A：有足够的证据确定可以关闭或减少监测；

类型 B：有适度的证据确定可以关闭或减少监测；

类型 C：确定关闭或减少监测较为困难。

而这些都基于三类数据：场地概念模型、对污染源的控制、残余污染物的影响。低风险结案判断条件包括：是否具有完整的场地概念模型来分析场地关闭条件，污染源是否得到控制，残余污染在未来用途下是否可能造成潜在风险。

表 7 25 低风险结案判断方法

项目	判断条件	必要因素	限制因素
概念模型	是否具有完成的概念模型	是/否	是/否
污染源控制	是否存在显著污染源	是/否	
	污染源区域是否存在 NAPL		是/否
	未来是否可能扩散导致新的污染区		是/否
	污染源是否稳定降低/减少		是/否
	源浓度是否稳定降低	是/否	
	是否有证据表明存在自然衰减	是/否	
	继续修复活动对污染情况改善是否显著		是/否
残留污染物风险	地下水污染羽范围是否稳定减少	是/否	
	有无持续自然衰减的证据	是/否	
	对受体和环境是否存在潜在风险	是/否	
	近期是否有改变地下水或土地利用的方式	是/否	

根据国内修复工程发展状况分析，原位修复、风险防控、绿色可持续修复等是场地修复的一个发展趋势，并且修复极限问题已经在部分场地出现，因此此处参考国外的经验，规定对于土壤原位修复和地下水修复，若地块未达到修复效果评估标准值但已达到修复极限，可开展残留污染物风险评估。

残留污染物风险评估的方法与常规风险评估方法相同，其参数取值应基于地块修复后的概念模型。挥发性有机物污染地块，土壤和地下水一旦被挥发性有机物污染，未来人群（受体）的主要健康风险暴露途径是呼吸挥发至室内外空气中的挥发性气体，其典型的场地污染风险概念模型下图所示。

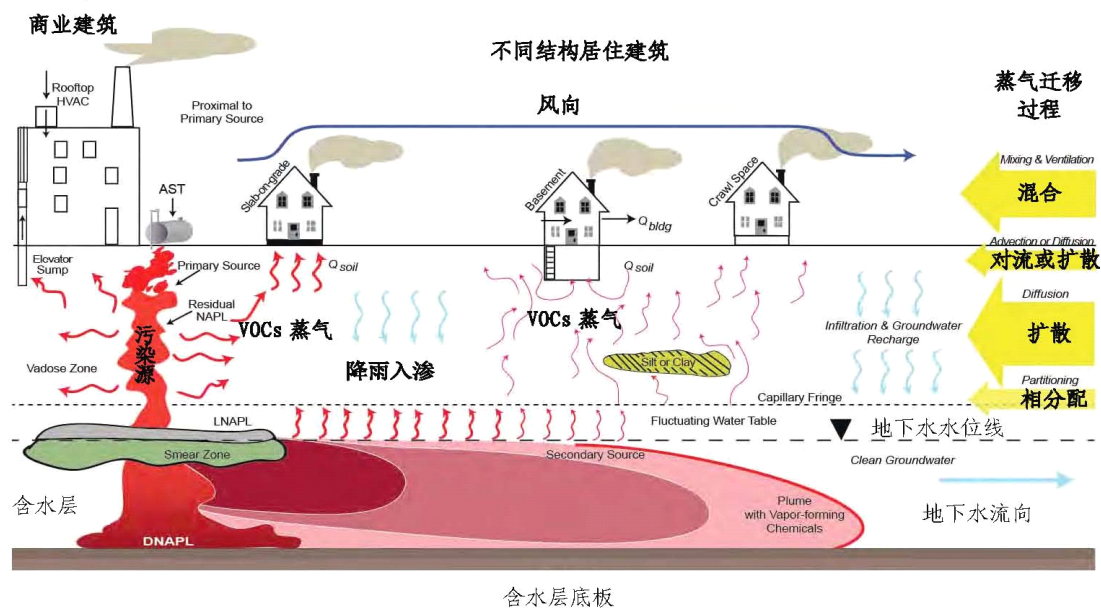


图 7 29 场地挥发性有机物污染概念模型

VOCs 呼吸暴露主要包括以下 4 个过程：①污染土壤或地下水中 VOCs 在残留相、土壤固相、液相、土壤气相以及非水相液体（存在非水相液体情形）之间分配并达到动态平衡；②动态平衡条件下，污染区域土壤气体中的 VOCs 在浓度梯度下通过分子扩散作用在其上方的非饱和土壤孔隙中迁移，这一过程中，受污染理化参数、土壤特性等因素影响，部分 VOCs 将被生物降解或清洁土壤吸附，导致污染程度降低；③迁移至邻近地表或建筑地板下土壤气体中的 VOCs，将进一步通过分子扩散或对流传质作用经过表层土壤孔隙进入大气环境或经过建筑地板裂隙进入室内空气，在室外空气对流或室内空气换气作用下混合稀释；④混合稀释后的 VOCs 被位于污染区室内外的人群呼吸吸入，自身健康受到危害。

通过以上对 VOCs 呼吸暴露健康风险概念模型分析可知，土壤空隙气体（简称土壤气）中 VOCs 浓度是表征其健康风险的重要指标之一。而且，国外已在相关技术导则中将测试土壤气中 VOCs 浓度作为评估 VOCs 呼吸暴露健康风险的重要手段之一。我国已意识到仅依靠土壤和地下水中 VOCs 浓度进行呼吸暴露健康风险评估过于保守，而且可能导致评估结论具有很大的不确定性。因此，北京市环保局 2016 年 1 月已发布实施了《污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则》(DB11/T 1278-2015)，其中，已明确要求开展土壤气监测评估，以为最终的评估结论提供支撑。

在修复效果评估中，本标准建议可设置土壤气监测井采集土壤气样品辅助开展残留污染物风险评估，评估方法可参考《污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则》(DB11/T 1278-2015)。

文本内容

【7.4.3.2】根据残留污染物风险评估结果，判断地块是否可达到修复效果评估标准：

a) 若残留污染物对未来受体和环境产生的风险可接受，则认为达到修复效果。

b) 若残留污染物对未来受体和环境产生的风险不可接受，则需要对控制措施进行优化并开展残留污染物风险评估，直至可达到修复效果。

编制说明

此处同场地风险评估与治理修复环节的判断与选择。若达到修复极限后，地块内残留污染物对未来受体和环境产生的风险不超过可接受水平，则可以结束治理修复或风险管控，但须开展后期监测；若超过可接受水平，则需要进一步开展治理修复或风险管控。

7.8 风险管控效果评估

7.8.1 主要内容

文本内容

本章规定了固化/稳定化、封顶、阻隔填埋、地下水阻隔墙、可渗透反应墙等风险管控措施效果评估的技术要求。

编制说明

《污染地块土壤环境管理办法（试行）》（部令第42号）在第四章对风险管控和第五章治理与修复中分别对两种方式进行了要求，从造成风险的“源——途径——受体”关键环节分析，常规治理与修复技术致力于对污染源的消减，而风险管控技术是对污染物迁移途径的限制或切断，对于采取对污染物迁移或暴露途径进行风险管控的措施，由于其修复方式并非降低或去除污染源，因此其修复效果评估的对象与思路与前述不尽相同。

7.8.2 评估指标和标准

文本内容

【8.2.1】风险管控效果评估指标包括工程性能指标和污染物指标。

【8.2.2】工程性能指标包括抗压强度、渗透性能、阻隔性能、工程设施连续性与完整性等，工程性能指标应满足设计要求或不影响预期效果。

编制说明

由于风险管控技术是对污染物迁移途径的限制或切断，因此其修复效果评估的指标应为其工程指标，工程指标根据不同的风险管控方式有所不同，例如固化稳定化包括抗压强度、阻隔设施为阻隔性能等，对于工程性能的评判要求一般须达到设计要求，方可起到风险控制的作用，若实施过程中与设计有所不同，也应不影响预期效果。

文本内容

【8.2.3】污染物指标包括关注污染物的浓度或浸出浓度，风险管控措施下游地下水中污染物浓度应保持稳定，固化/稳定化后土壤中污染物的浸出浓度应达到接收地地下水使用功

能对应标准值。

编制说明

除了工程指标以外，对于风险管控措施的考核最终应为其预期效果，例如对地下水污染源的阻隔等，其下游的污染物浓度应保持稳定。《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）》提出“当采用降低土壤中目标污染物的活性和迁移性控制其风险的固化/稳定化技术时，应根据固化体最终处置地的环境保护要求，确定其浸出浓度限值”。因此固化/稳定化产物的浸出毒性应达到填埋场入场控制标准或处置地相关管理标准的要求，作为资源化利用的应达到相关用途管理标准的要求。

文本内容

【8.2.4】地下水水位、地球化学参数、流速等指标可作为风险管控效果的辅助判断依据。

编制说明

由于风险管控措施会影响水位、水文地质参数等，因此可以运用这些指标，来判断风险管控措施是否起到预期效果。

7.8.3 评估周期和频次

文本内容

【8.3.1】风险管控效果评估的目的是评估工程措施是否有效，一般在工程设施完工 1 年内开展。

编制说明

美国《Close Out Procedures for National Priorities List Sites》2011 中对于污染源去除和风险阻隔进行了不同要求，对于工程措施，要求在一年内进行 O&F（operational & functional），及确认工程措施的性能可以达到。

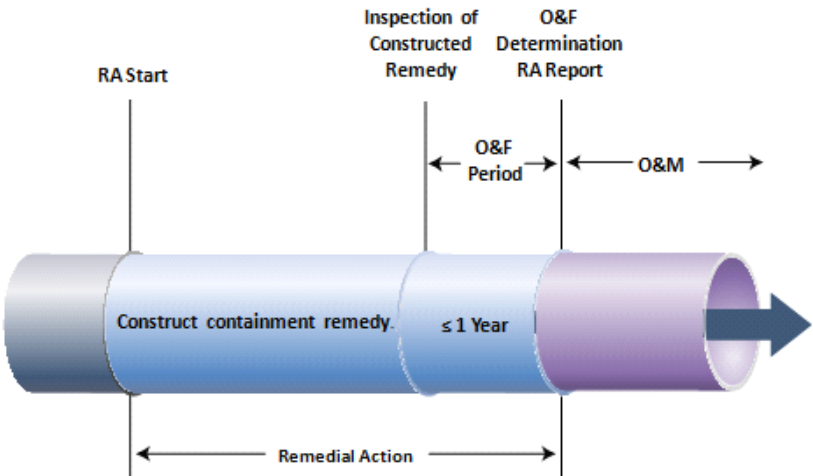


图 7 30 美国地下水控制措施实施过程

【8.3.2】工程性能指标应按照工程实施评估周期和频次进行评估。

【8.3.3】对于污染物指标，应采集 4 个批次的数据，建议每个季度采样一次。

编制说明

对于工程性能指标评估的周期和频次，主要根据具体工程特征和实施情况确定，在本标准中不做要求。

《生活垃圾卫生填埋场环境监测技术要求》（GB/T18772-2008）每年按丰、平、枯水期各监测一次，《污染地块修复技术指南—土壤固化/稳定化技术（试行）》中要求“前二年每季度监测一次，后三年每半年监测一次，第五年后视具体情况进行调整。”为便于执行，采用季度性采样的方式。

7.8.4 布点数量与位置

文本内容

【8.4.1】地下水监测井设置需结合风险管控措施的布置，在地下水水流方向的上游、两侧、下游设置监测点，监测井位置参照 GB/T 18772 第 8.1 节设置。

【8.4.2】可充分利用地块调查评估与修复实施等阶段设置的监测井，现有监测井须符合修复效果评估采样条件。

编制说明

为了便于使用，风险管控措施的监测井设置在本标准中不做要求，采用《生活垃圾卫生填埋场环境监测技术要求》（GB/T 18772-2008）节的要求，并且可充分利用原有监测井。

7.8.5 现场采样与实验室检测

文本内容

现场采样与实验室检测按照 HJ 25.1 和 HJ 25.2 的规定执行。

编制说明

效果评估阶段的现场采样和实验室检测与调查评估阶段的要求相同，因此本章节的技术环节主要参照国内已有导则执行。

7.8.6 风险管控效果评估

文本内容

【8.6.1】若工程性能指标和污染物指标均可达到评估标准，可判断风险管控达到效果；

【8.6.2】若工程性能指标或污染物指标未达到评估标准，则判断风险管控未达到效果，须对工程措施进行维护、修理或优化。

编制说明

主要参考《Close Out Procedures for National Priorities List Sites》2011 中对于工程措施的要求，若 O&F（operational & functional）确认工程措施的性能及其风险管控效果不能达到预期要求，须对工程措施进行维护与优化。

7.9 后期环境监管建议

7.9.1 后期环境监管要求

文本内容

【9.1.1】下列情景下，须开展后期环境监管：

- a) 修复后土壤或地下水中污染物浓度达到修复效果评估标准值、但未达到地块使用功能对应筛选值或地下水使用功能对应标准值的地块；
- b) 地下水中污染物未达到评估标准、但残留污染物对受体和环境产生的风险不超过可接受水平的地块；
- c) 接收异位修复后土壤的地块；
- d) 实施风险管控的地块。

编制说明

污染地块土壤环境管理办法（部令 第 42 号）第二十六条规定“治理与修复效果评估报告应当包括治理与修复工程概况、环境保护措施落实情况、治理与修复效果监测结果、评估结论及后续监测建议等内容。”，因此后续环境管理与监测建议是修复效果评估的组成部分。

目前国内修复工程采用修复方案中确定的土壤和地下水中污染物的修复目标值，此目标值多为根据地块使用用途场地风险评估计算的数值，因此对其是否达到修复效果的判断只适用于规定用地情景，若改变未来用途，则其所达到的目标值不一定不超过可接受风险，例如某商业情景下修复后的土壤在多年后可能作为居住用地开发和使用。因此，理论上讲，对于虽然达到修复目标值，但是未达到对应使用功能筛选值或标准值的地块，均应开展后期环境监管。

文本内容

【9.1.2】后期环境监管的方式一般包括长期环境监测与制度控制，两种方式可结合使用。

编制说明

后期环境监管常采用长期环境监测与制度控制的措施，长期环境监测见 7.10.2。而制度控制是一种非工程的措施，如行政和法律控制，这有助于减少污染物对人类和环境的暴露风险，保护修复措施的完整性，制度控制可以通过限制公众对土地或资源的使用，引导公众在场地上的行为，减少污染物对人类和环境的暴露风险。

当污染场地刚被发现或者修复正在实施，场地上的残留污染无法达到任意使用和任意暴露的标准时，这时需要使用制度控制。美国联邦应急计划（NCP）强调，制度控制是风险管控的补充，很少是污染场地唯一的修复措施。美国出台了一系列指南来指导制度控制的实施与使用，例如《Institutional Controls: A Site Manager's Guide to Identifying, Evaluating and Selecting Institutional Controls at Superfund and RCRA Corrective Action Cleanup》、

《Institutional Controls: A Citizen's Guide to Understanding Institutional Controls at Superfund, Brownfields, Federal Facilities, Underground Storage Tank, and Resource Conservation and Recovery Act Cleanups》等。

7.9.2 长期环境监测

文本内容

【9.2.1】上述 b)、c)、d)情景下须开展长期监测。

编制说明

情景 b 虽然通过残留污染物风险评估其风险不超过可接受水平，由于未达到修复目标值，一般通过设置阻隔或建筑参数等进行风险的控制，因此需要开展长期监测。

情景 c 考虑到固化稳定化的长期有效性因此需要开展长期监测，ITRC 相关导则规定，考虑土地利用、场地条件改变等，固化稳定化的长期有效性一般监测目标污染物以及影响固化体稳定性的物质，例如 PH、水位变化等；监测点位置的设置考虑上游和下游，具体数量和位置基于场地特性确定，例如场地位置、固化体可能对地下水带来的变化、迁移到受体的时间等；监测的频次一般在第一个五年内采用季度性监测，然后根据结果进行调整。

情景 d 是通过工程措施阻断风险途径，但未去除污染物，需开展长期监测。

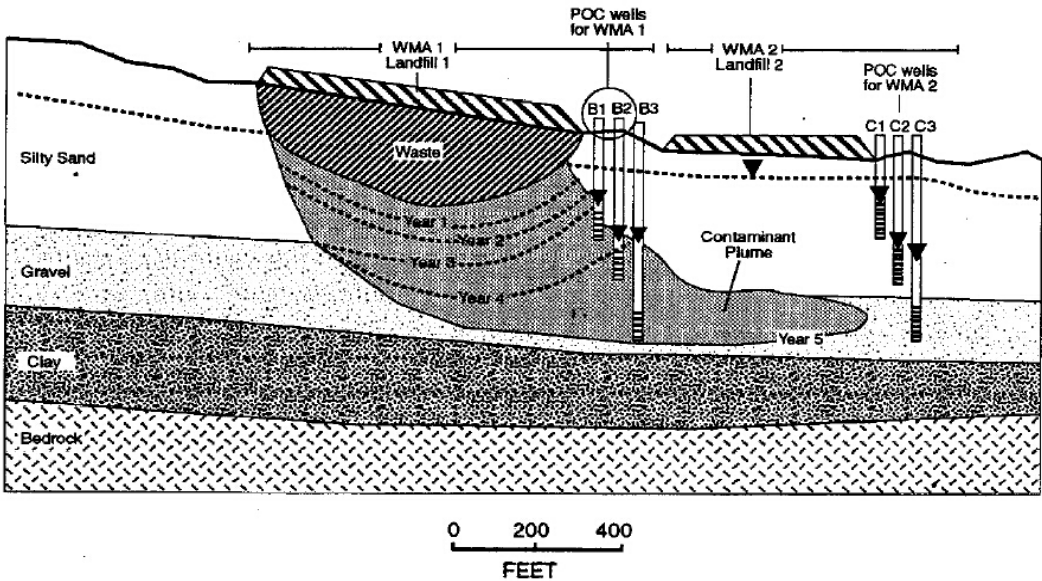
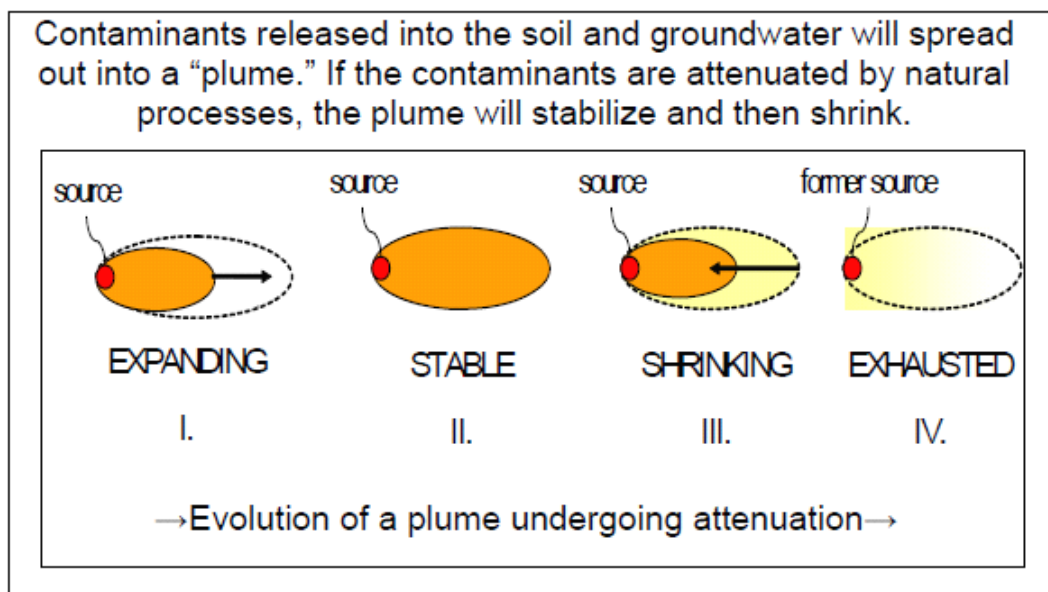


图 7 31 自然衰减长期监测示意图



来源：ITRC 2008 《Enhanced Attenuation: Chlorinated Organics》

图 7 32 场地中污染羽的变化示意图

文本内容

【9.2.2】一般通过设置地下水监测井并进行周期性地下水样品采集和检测，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修复效果评估阶段污染物浓度高的区域与污染羽下游。

【9.2.3】应充分利用地块内符合采样条件的监测井。

编制说明

监测点的设置应优先考虑重点区域，例如《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2-2014）中“6.5.4 长期治理修复工程可能影响的区域范围也应布设一定数量的监测点位。”修复之后的场地应基于场地修复概念模型设置后期监测点。一般设置地下水监测井，对于挥发性有机物污染场地也可设置土壤气监测井。

文本内容

【9.2.4】原则上长期监测 3 年开展一次，最长时间间隔不大于 5 年。

编制说明

本条目主要参考美国 EPA 关于 5 年回顾的相关要求，并结合专家咨询会的建议制定。

7.9.3 制度控制

文本内容

【9.3.1】上述 a)、b)、c)、d)情景下均需开展制度控制。

【9.3.2】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等方式，多种制度控制方式可同时使用。

编制说明

根据美国关于制度控制的资料：制度控制用于不同的目的时，有不同的类型。这些目的包括限制场地使用、修改行为，和提供信息，相应的有 4 种类型的制度控制：政府、所有权、执法和信息。制度控制 4 种类型的具体阐述如下。所有权控制是指控制土地使用等措施，本质上属于私有权，通过土地的拥有者和参与治理的第三方签订的私人协议来实现，美国的国家和州法律授权所有权控制，常见的例子包括地役权限制使用和限制性契约；政府控制是指运用政府实体的权利限制土地或资源的利用，典型例子有分区制、建筑法规、州、当地政府的地下水使用条例等；执法和许可证工具是法律工具，例如行政命令、许可证、联邦设施协议、同意的律例；信息工具提供信息通知，通告所记录的场地信息，劝告当地社区、游客或者其他利害关系人场地上存在残留的污染，这种信息工具不提供强制性限制，典型的信息工具包括污染场地的政府登记备案、行动通知、跟踪系统、贝类/鱼类消费报告等。本条目进行总结和简化，列出适用于国内的制度控制措施。

文本内容

【9.3.3】原则上制度控制直至地块土壤与地下水中污染物分别达到 GB36600 第一类用地筛选值和 GB/T 14848 中的 III 类标准值为止。

编制说明

此处主要考虑采用最为保守的方式，以达到对修复后地块进行有效长期环境管理的目的。

7.10 报告编制

文本内容

【10.1】效果评估报告应当包括风险管控与修复工程概况、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、效果评估结论及后续环境监管建议等内容。

【10.2】效果评估报告的格式参见附录 E。

编制说明

污染地块土壤环境管理办法（部令 第 42 号）第二十六条规定“治理与修复效果评估报告应当包括治理与修复工程概况、环境保护措施落实情况、治理与修复效果监测结果、评估结论及后续监测建议等内容。”

本章节主要依据其要求编写，对报告内容的真实性、科学性进行要求，同时在附录里给出大纲以供参考。

8 与国内外同类标准对比与分析

本标准是我国污染地块环境保护系列标准之一，针对污染地块修复效果评估环节制定，规定了污染地块治理与修复效果评估的内容、程序、方法和技术要求，是《场地环境调查技术导则》（HJ 25.1—2014）、《场地环境监测技术导则》（HJ 25.2—2014）、《污染场地风险评估技术导则》（HJ 25.3—2014）、《污染场地土壤修复技术导则》（HJ 25.4—2014）、《污染场地术语》（HJ 682—2014）这一系列导则的补充和完善。

本技术导则制定过程中，充分调研了地方导则的使用情况，对于在实施过程中得到公认的基本技术要求进行了明确、对尚存疑问的重要技术要点进行了梳理、对于较为棘手的关键技术要点进行了补充。

从本技术导则与各个地方导则的比较来看，修复效果评估的定位一致，工作程序更加完善，修复效果评估对象、布点方法、检测指标等技术要点更加清晰，本技术导则增加了地块修复概念模型、修复极限、残留污染物风险评估、以及后期环境监管容和技术要求。与国内外标准的对比分析见前述对应章节，与国内现有标准的对比分析见附录 1。

9 对实施本标准的建议

本标准应配合已发布的 HJ 25.1、HJ 25.2、HJ 25.3、HJ 25.4 实施，并按照国内外污染地块土壤和地下水修复技术发展状况和环境风险管理要求及时修订。

附录 1 与国内标准的对比分析

关键技术内容	发布机构	本标准	原环保部标准司 2014	原环保部污染防治司 2014	北京市 2011	上海市 2015	重庆市 2016	浙江省 2018	广州市 2018	与现有导则一致性程度	对现有导则的完善程度	综合对比结果
	名称	《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》	《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)	《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南 (试行) 》	《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)	《上海市污染场地修复工程验收技术规范 (试行) 》	《重庆市污染场地治理修复验收技术导则》(DB50 / T 724-2016)	《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》(DB33/T 2128-2018)	《广东省修复效果评估技术指南》			
1	定位	通过资料回顾与现场踏勘、现场采样和实验室检测,综合评估地块修复是否达到预期效果或修复后场地风险是否达到可接受水平。	对污染场地治理修复工程完成后的环境监测,主要工作是考核和评价治理修复后的场地是否达到已确定的修复目标及工程设计所提出的相关要求。	在污染场地修复完成后,对场地内土壤和地下水、以及修复后的土壤和地下水进行调查和评估的过程。	污染场地修复完成后依据修复目标值对场地内土壤和地下水进行的调查和评价过程。	在污染场地治理修复工程完成后,考核和评价场地是否达到风险评估所确定的修复目标及工程设计所提出的相关要求。	在污染场地修复工程完成后,对场地土壤和地下水进行监测,以确定场地修复是否达标并总体评估修复效果的过程。	根据治理修复工程实施后的情况,评估污染地块的现状和污染物削减、去除或风险管控的成效。	根据治理修复工程实施后的情况,评估污染地块的现状和污染物削减、去除或风险管控的成效。	★★★	/	一致

关键技术内容	发布机构	本标准	原环保部标准司 2014	原环保部污染防治司 2014	北京市 2011	上海市 2015	重庆市 2016	浙江省 2018	广州市 2018	与现有导则一致性程度	对现有导则的完善程度	综合对比结果
	名称	《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》	《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)	《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》	《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)	《上海市污染场地修复工程验收技术规范(试行)》	《重庆市污染场地治理修复验收技术导则》(DB50/T 724-2016)	《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》(DB33/T 2128-2018)	《广东省修复效果评估技术指南》			
2	工作程序	将土壤与地下水修复评估工作程序分别列出并细化,风险管控效果评估以文字形式进行叙述。	无工作程序	沿用北京导则工作程序框图	主要适用于土壤修复验收	沿用北京导则工作程序框图并进行细化	沿用北京导则工作程序框图	沿用北京导则工作程序框图	沿用北京导则工作程序框图并在其中增加风险管控效果评估程序	★★	☆☆	基本一致 更加完善
3	修复概念模型	在文件审核与现场踏勘的基础上,提炼出修复概念模型的相关要求。	未展开此部分内容	文件审核与现场勘察	文件审核与现场勘察	资料收集分析与现场踏勘	资料审核与现场核查	资料整理与现场踏勘	资料整理与现场踏勘		☆☆☆	增加要求
4	验收对象	土壤异位修复和原位修复效果、地下水抽出处理和原位修复效果以及风	土壤和地下水修复效果	土壤和地下水修复效果、工程控制措施	土壤和地下水修复效果	土壤和地下水修复效果	土壤和地下水修复效果	土壤和地下水修复效果、风险管控效果	土壤和地下水修复效果、风险管控效果、绿色可持续修复效果	★★	☆☆	基本一致 更加完善

关键技术内容	发布机构	本标准	原环保部标准司 2014	原环保部污染防治司 2014	北京市 2011	上海市 2015	重庆市 2016	浙江省 2018	广州市 2018	与现有导则一致性程度	对现有导则的完善程度	综合对比结果
	名称	《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》	《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)	《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》	《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)	《上海市污染场地修复工程验收技术规范(试行)》	《重庆市污染场地治理修复验收技术导则》(DB50/T 724-2016)	《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》(DB33/T 2128-2018)	《广东省修复效果评估技术指南》			
		险管控效果的评估。										
5	检测指标	目标污染物、二次污染物、常规指标、修复设施运行参数	目标污染物	目标污染物	目标污染物	目标污染物	目标污染物、二次污染物	目标污染物、二次污染物、修复设施工程指标	目标污染物、二次污染物、修复设施工程指标	★★	☆☆	基本一致更加完善
6	土壤修复效果评估布点数量	基坑根据网格大小设置,不超过1600m ² ;修复后土壤原则上不超过500m ³ ,对于均匀的可1000m ³ ;也可	基坑不超过1600m ² ,也可参照详细调查的密度;异位修复每个样品代表的土壤体积不超过500m ³ ;原位修复根	沿用北京市导则要求,异位修复后不超过500m ³ 。	基坑根据网格大小设置;异位修复未作规定;原位修复根据网格大小结合污染深度分层设置。	基坑沿用北京市要求,异位和原位修复沿用25.2-2014要求。	基坑沿用北京市要求,异位和原位修复沿用25.2-2014要求。	基坑沿用北京市要求,原位修复沿用25.2-2014要求,异位一般要求500m ³ ,对于效果不均匀的要求每个样品代	基坑沿用北京市要求,异位和原位修复沿用25.2-2014要求。	★★	☆☆	基本一致更加完善

关键技术内容	发布机构	本标准	原环保部标准司 2014	原环保部污染防治司 2014	北京市 2011	上海市 2015	重庆市 2016	浙江省 2018	广州市 2018	与现有导则一致性程度	对现有导则的完善程度	综合对比结果
	名称	《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》	《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)	《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》	《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)	《上海市污染场地修复工程验收技术规范(试行)》	《重庆市污染场地治理修复验收技术导则》(DB50/T 724-2016)	《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》(DB33/T 2128-2018)	《广东省修复效果评估技术指南》			
		根据浓度分布计算采样数量。	据工程设计进行布设。					表土方不超过 200m³。				
7	土壤修复效果评估方法	逐个对比、统计方法	未提及	逐个对比、统计方法	逐个对比、统计方法	逐个对比、统计方法	逐个对比、统计方法	逐个对比	逐个对比、统计方法	★★	☆☆	基本一致更加完善
8	地下水修复效果布点	数量根据实际情况而定,不做具体要求,并且可利用符合条件的监测井。	可利用原有监测井,但数量不应超过验收时监测井总数的 60%,新增监测井位置布设在地下水污染最严重	沿用北京市导则要求	上游 1 个、内部 3 个、下游 2 个,原有井比例不超过井总数 60%。	上游 1 个、内部 3 个、下游 1 个,原有井比例不超过井总数 60%。	沿用北京市导则要求	沿用北京市导则要求	沿用北京市导则要求	★	☆☆☆	原则一致更加完善

关键技术内容	发布机构	本标准	原环保部标准司 2014	原环保部污染防治司 2014	北京市 2011	上海市 2015	重庆市 2016	浙江省 2018	广州市 2018	与现有导则一致性程度	对现有导则的完善程度	综合对比结果
	名称	《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》	《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)	《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》	《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)	《上海市污染场地修复工程验收技术规范(试行)》	《重庆市污染场地治理修复验收技术规范》(DB50 / T 724-2016)	《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》(DB33/T 2128-2018)	《广东省修复效果评估技术指南》			
			区域。主要沿用北京市导则要求。									
9	地下水修复效果评估方法	稳定达标、修复极限与残留污染物风险评估	未提及	未考虑稳定达标问题	未考虑稳定达标问题	未考虑稳定达标问题	未考虑稳定达标问题	未考虑稳定达标问题	未考虑稳定达标问题	★	☆☆	原则一致更加完善
10	风险管控效果评估方法	对风险管控的短期效果评估和长期环境监测作出技术要求。	未涉及	简单提及	未涉及	未涉及	未涉及	根据风险管控技术方案确定的技术路线、参数和工程要求,对工程实施情况的符合性进行验证。	根据风险管控技术方案确定的技术路线、参数和工程要求,对工程实施情况的符合性进行验证。	★	☆☆☆	原则一致增加要求

关键技术内容	发布机构	本标准	原环保部标准司 2014	原环保部污染防治司 2014	北京市 2011	上海市 2015	重庆市 2016	浙江省 2018	广州市 2018	与现有导则一致性程度	对现有导则的完善程度	综合对比结果
	名称	《污染地块风险管控与修复效果评估技术导则》	《场地环境监测技术导则》(HJ 25.2-2014)	《工业企业场地环境调查评估与修复工作指南(试行)》	《污染场地修复验收技术规范》(DB11/T783-2011)	《上海市污染场地修复工程验收技术规范(试行)》	《重庆市污染场地治理修复验收技术导则》(DB50 / T 724-2016)	《污染地块治理修复工程效果评估技术规范》(DB33/T 2128-2018)	《广东省修复效果评估技术指南》			
11	后期环境管理与监测要求	按照 42 号令要求，细化了长期环境监测与制度控制内容。	对回顾性评估提出原则要求。	对后期管理提出要求。	未涉及	未涉及	未涉及	未涉及	未涉及		☆☆☆	增加要求

主要参考文献

- [1] 《中华人民共和国土壤污染防治法》.2018
- [2] 《国务院关于印发土壤污染防治行动计划的通知（国发〔2016〕31号）》.
- [3] 《污染地块土壤环境管理办法》（部令第42号）.
- [4] 国家环境保护标准.GB 36600.土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）.2018.
- [5] 国家环境保护标准.HJ/T 166.土壤环境监测技术规范. 2004.
- [6] 国家环境保护标准.HJ 25.1.场地环境调查技术导则.2014.
- [7] 国家环境保护标准.HJ 25 .2.场地环境监测技术导则.2014.
- [8] 国家环境保护标准.HJ 25 .3.污染场地风险评估技术导则.2014.
- [9] 国家环境保护标准.HJ 25.4.污染场地土壤修复技术导则.2014.
- [10] 国家环境保护标准.HJ 682.污染场地术语.2014.
- [11] 国家环境保护标准.工业企业场地环境调查评估与修复工作指南（试行）.2014.
- [12] 地方标准. DB11/T783.污染场地修复验收技术规范.2011.
- [13] 地方标准. DB11/T 1281.污染场地修复后土壤再利用技术导则.2015.
- [14] 地方标准. DB11/T 1278.污染场地挥发性有机物调查与风险评估技术导则.2015.
- [15] 地方标准. DB50/T 724.重庆市污染场地治理修复验收技术导则.2016.
- [16] 地方标准. DB33/T 2128.污染地块治理修复工程效果评估技术规范.2018.
- [17] 地方标准.上海市污染场地修复工程验收技术规范（试行）.2016.
- [18] 地方标准.广东省修复效果评估技术指南.2018.
- [19] 污染场地修复技术目录（第一批）.
- [20] EPA 1996.An overview of methods for evaluating the attainment of cleanup standards for soils, solid media, and groundwater, EPA Volumes 1,2, and 3.
- [21] EPA .1989.Methods for -Evaluating the Attainment of Cleanup Standards Volume 1: Soils and Solid Media.
- [22] EPA .1992.Methods for -Evaluating the Attainment of Cleanup Standards Volume 2: Ground Water.
- [23] EPA .1992.Statistical Methods For Evaluating The Attainment Of Cleanup Standards Volume 3: Reference-Based Standards For Soils And Solid Media.

- [24] EPA. 1994.Methods from monitoring pump-and-treat performance.
- [25] OSWER.2000.Close Out Procedures for National Priorities List Sites.
- [26] OSWER .2011.Close Out Procedures for National Priorities List Sites.
- [27] OSWER. 2014.Recommended Approach for Evaluating Completion of Groundwater Restoration Remedial Actions at a Groundwater Monitoring Well.
- [28] Michigan DNR .1994.guidance document for verification of soil remediation.
- [29] Michigan DEQ. 2002.Sampling Strategies and Statistics Training Materials for Part 201 Cleanup Criteria.
- [30] Michigan DNR .2006.Groundwater and Soil Closure Verification Guidance.
- [31] Ontario .1996.Guidance on Sampling and Analytical Methods for Use at Contaminated Sites in Ontario.
- [32] Wyoming .2000.Soil Confirmation Sampling Guidelines.
- [33] New Jersey .2011.Alternative and Clean Fill Guidance for SRP Sites.
- [34] New Jersey. Technical Guidance for Site Investigation of Soil, Remedial Investigation of Soil, and Remedial Action Verification Sampling for Soil.
- [35] New Jersey.2012. Technical Guidance for Site Investigation of Soil, Remedial Investigation of Soil, and Remedial Action Verification Sampling for Soil, Alternative and Clean Fill Guidance for SRP Sites.
- [36] Minnesota.1998. Draft Guidelines Risk Based Site Characterization and Sampling Guidance .
- [37] Minnesota Pollution Control Agency. 2008. Soil Sample Collection and Analysis Procedures Guidance: Document 4-04Petroleum Remediation Program.
- [38] Minnesota. Soil Sample Collection and Analysis Procedures: Guidance Document 4-04.
- [39] Minnesota. 1996.Risk based site characterization and sampling guidance, Minnesota Pollution Control Agency Site Remediation Section.
- [40] California. 2001.Confirmation Sampling And Analysis Plan.
- [41] New Hampshire .2004.Contaminated Site Closure: A Property Owner's Guide.
- [42] Canada. 1999.A Federal Approach to Contaminated Sites.
- [43] Canada. 2012. Guidance for site closure tool for federal contaminated sites.
- [44] UK.2004. Model Procedures for the Management of Land Contamination.
- [45] UK.2010. Verification of remediation of land contamination.

- [46] Australia.2010.UPSS Technical Note: Site Validation Reporting.
- [47] Australia.2011.Guidelines for Consultants Reporting on Contaminated Sites.
- [48] Newzealand.2011.Contaminated Land Management Guidelines No.1 - Reporting on Contaminated Sites in New Zealand .
- [49] Newzealand. 2011.Contaminated Land Management Guidelines No 5 - Site Investigation and Analysis of Soils .
- [50] New Zealand. Checklist of reporting requirements for contaminated sites.
- [51] OSWER.2014.Recommended Approach for Evaluating Completion of groundwater Restoration Remedial Actions at a Groundwater Monitoring Well.
- [52] RCRA. 1992.Groundwater Monitoring: Draft Technical Guidance.
- [53] California State Water Resources Control Board. 2012.Low-Threat Underground Storage Tank Case Closure Policy.
- [54] AIR FORCE CENTER FOR ENGINEERING & THE ENVIRONMENT LACKLAND AFB, TEXAS. 2012.Low-Risk Site Closure Guidance Manual to Accelerate Closure of Conventional and Performance Based Contract Sites.
- [55] Institutional Controls: A Site Manager's Guide to Identifying, Evaluating and Selecting Institutional Controls at Superfund and RCRA Corrective Action Cleanup. 2000.
- [56] Institutional Controls: A Citizen's Guide to Understanding Institutional Controls at Superfund, Brownfields, Federal Facilities, Underground Storage Tank, and Resource Conservation and Recovery Act Cleanups. 2005.
- [57] Institutional Controls: A Guide to Planning, Implementing, Maintaining, and Enforcing Institutional Controls at Contaminated Sites. 2010.
- [58] Recommended Evaluation of Institutional Controls: Supplement to the Comprehensive Five -Year Review Guidance. 2011.
- [59] Recommended Process for Restoring Contaminated Groundwater at Superfund Sites.2011.
- [60] Summary of Key Existing EPA CERCLA Policies for Groundwater Restoration.2009.
- [61] New Jersey Department of Environmental Protection Site Remediation Program. Technical Impracticability Guidance for Ground Water.