

GUIDELINES ON
REMEDIATION OF
CONTAMINATED
SITES

丹麦污染场地修复导则

丹麦环保署◎著

方斌斌 王 水 曲常胜 丁 亮 张满成 等◎译



科学出版社

GUIDELINES ON
REMEDIATION OF
CONTAMINATED
SITES

丹麦污染场地修复导则

丹麦环保署

方斌斌 王 水 曲常胜 丁 亮

张满成译

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统介绍丹麦从污染场地环境调查到修复与治理的全过程技术流程。主要包括总体流程、环境调查、风险评估、相关环境质量标准、修复措施与工程设计、过程监控与评价等。此外,附录部分还列举了相关技术工具、模型、方法与案例等,主要包括土壤钻孔与采样、地下水建井与采样、土壤气采样、地质评估、抽水试验、风险评估计算模型与案例等。

本书具有较强的专业性和技术性,可供从事土壤污染修复治理、土壤环境监管的工程技术人员、科研人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

丹麦污染场地修复导则 / 丹麦环保署著; 方斌斌等译. —北京: 科学出版社, 2018.4

书名原文: Guidelines on Remediation of Contaminated Sites

ISBN 978-7-03-056126-8

I. ①丹… II. ①丹… ②方… III. ①环境污染—地区—修复—技术规范—丹麦 IV. ①X321.534-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 316154 号

责任编辑: 杨婵娟 吴春花 / 责任校对: 何艳萍

责任印制: 张欣秀 / 封面设计: 无极书装

编辑部电话: 010-64033408

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 4 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2018 年 4 月第一次印刷 印张: 14 1/2

字数: 268 000

定价: 85.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

翻译组成员

丁 亮

王 水

王长明

王 栋

方斌斌

付益伟

曲常胜

朱 迟

邱成浩

张 强

张满成

欧阳黄鹂

周永艳

柏立森

钟道旭

陶景忠

曹 璐

蔡冰杰

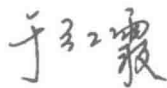
蔡安娟

译者序

改革开放以来，我国的工业化和城市化建设取得了举世瞩目的成就。但伴随着产业结构的调整和城区范围的扩大，大量关停搬迁工业企业遗留地块转变为居住和商业用地，潜在的土壤污染隐患不容忽视。党的十九大提出“建设美丽中国，为人民创造良好生产生活环境”，而解决土壤污染问题、保障人居环境安全是“美丽中国”的应有之义。可以说，土壤污染防治已成为水、大气污染防治之后，我国环境保护工作的新重点。

我国的土壤环境保护工作起步较晚，技术和人才储备不足，标准规范缺乏，迫切需要学习借鉴发达国家在土壤污染防治领域的先进理念和宝贵经验。正是在此背景下，江苏省与丹麦首都大区于 2015 年签署合作备忘录，全面推动双方在污染场地治理修复方面的人员交流与技术合作。丹麦作为全球土壤环保工作起步最早、要求最高的国家之一，在技术规范制定方面也开展了大量扎实有效的工作。他山之石，可以攻玉。江苏省环境科学研究院土壤环境研究所团队面向国家土壤环境保护战略需求，群策群力，克服困难，适时编译出版了《丹麦污染场地修复导则》一书。该导则系统介绍了丹麦污染场地调查流程、风险评估、标准选用、修复工程设计、过程监控与评价等方面的内容。

该导则已在丹麦的相关工作中发挥了重要作用，期待它的出版发行能有助于我们土壤环境管理工作的推进和修复治理技术人员专业水平的提升。



2017 年 12 月于南京

译者前言

土壤环境质量关系食品安全和人居环境安全，但当前我国土壤环境总体状况不容乐观，部分地区土壤污染较为严重，已成为全面建成小康社会的突出短板之一。为此，国家日益重视土壤污染防治工作，并于 2016 年 5 月印发了《土壤污染防治行动计划》，这是党中央、国务院推进生态文明建设、坚决向土壤污染宣战的一项重大举措。在十九大报告中，习近平总书记也明确提出“强化土壤污染管控和修复”“加快生态文明体制改革，建设美丽中国”。

我国土壤污染防治起步较晚，迫切需要学习借鉴发达国家的相关经验，进而加快完善自身土壤污染防治法律法规、技术规范体系。为此，在《中华人民共和国江苏省环境保护厅与丹麦首都大区地区发展中心合作备忘录》框架下，江苏省环境科学研究院组织开展了《丹麦污染场地修复导则》的编译工作。

本书正文共有 10 个部分，附录有 27 个部分。正文介绍了丹麦污染场地环境调查到修复与治理的全过程技术流程，主要包括环境调查、风险评估、相关环境质量标准、修复措施与工程设计、过程监控与评价等。附录介绍了相关技术工具、模型、方法与案例等，主要包括土壤钻孔与采样、地下水建井与采样、土壤气采样、地质评估与抽水试验、土壤气和地下水中污染物计算模型和案例等。

本书的编译出版得到了丹麦环保署的授权和江苏省科学技术厅省属公益类院所能力提升项目的支持。江苏环境保护厅土壤环境管理处、江苏省环境经济技术国际合作中心对编译工作给予了大量指导和帮助，在此一并致谢。希望本书的出版可以深化中丹土壤污染防治交流合作，并为我国大力实施土壤污染防治，特别是工业污染场地调查和修复治理提供有益借鉴。

由于译者经验和水平有限，书中难免存在疏漏之处，望同行和读者批评指正。



2017 年 11 月

C 目录

CONTENTS

译者序

译者前言

▶ 1 引言	/ 001
▶ 2 工作内容与流程	/ 002
2.1 工作阶段划分	/ 002
2.2 初始调查阶段	/ 004
2.3 采样调查阶段	/ 004
2.4 修复阶段	/ 006
2.5 过程监控与评价阶段	/ 007
2.6 信息发布策略	/ 007
▶ 3 初始调查	/ 008
3.1 简介	/ 008
3.2 场地历史和当前用途	/ 008
3.3 地表受纳水体及土壤和地下水条件	/ 011
3.4 报告	/ 011
▶ 4 采样调查	/ 012
4.1 简介	/ 012
4.2 土壤和地下水采样	/ 012

4.3	土壤气采样	/ 016
4.4	检测方法	/ 019
4.5	建筑物数据的收集	/ 021
4.6	地质、水文地质和水文	/ 022
▶ 5	风险评估	/ 023
5.1	内涵、流程及数据要求	/ 023
5.2	土地利用	/ 024
5.3	气体挥发（包括填埋气）	/ 030
5.4	地下水	/ 038
5.5	地表受纳水体	/ 050
▶ 6	环境质量标准	/ 051
6.1	背景与目的	/ 051
6.2	土壤质量标准	/ 051
6.3	土壤清除标准	/ 053
6.4	外源土壤标准	/ 054
6.5	地下水质量标准	/ 055
6.6	空气质量标准	/ 056
6.7	质量标准的使用及其局限性	/ 058
▶ 7	报告	/ 059
7.1	初步采样调查	/ 059
7.2	补充采样调查	/ 061
▶ 8	工程设计	/ 062
8.1	基础条件	/ 062
8.2	项目概述	/ 063
8.3	项目详细计划书	/ 065
8.4	招标和标书	/ 065
8.5	监理	/ 067
8.6	工作环境和外部环境	/ 068
8.7	项目和质量控制	/ 069
8.8	项目的完成	/ 069

▶▶ 9 修复措施	/ 070
9.1 清理目的	/ 070
9.2 土壤污染的修复措施	/ 071
9.3 地下水污染的修复方案	/ 079
9.4 污染土壤气的修复方法	/ 086
9.5 垃圾填埋场废气的修复措施	/ 087
9.6 房屋下的残余污染物	/ 088
▶▶ 10 过程监控与评价	/ 089
10.1 介绍和目标	/ 089
10.2 挖掘评价	/ 089
10.3 土壤污染原位修复的评价	/ 092
10.4 地下水修复评价	/ 095
10.5 土壤气修复评价	/ 097
10.6 填埋气的控制措施	/ 097
▶▶ 参考文献	/ 099
▶▶ 附录	/ 103

1

引言

本导则是 1992 年所发布的技术通则的细化和更新版，旨在为处置污染场地问题提供从调查阶段到治理与修复阶段的完整技术指导。

本导则已提交论证，同样提交论证的导则还包括《土壤污染物及其来源制图导则》《土壤采样与分析导则》《轻度污染区居民行为建议》《石油类污染场地修复导则》。

导则内容不具有强制约束力，但可以为管理部门、企业和咨询机构就有关污染问题进行平等协商提供技术支撑。

管理部门在处理相关污染问题时，应始终将导则给出的原则和说明作为出发点。为适应现行法规的各项要求，导则内容需要不断做出调整。由于在污染场地开发利用与管理受行政管制的情况下，从场地完全去除污染土壤并不总是必要的。这也意味着本导则目前不直接适用于丹麦《环境保护法》的恢复原则和《污染场地法》中有关退出名录的情形。

2.1 工作阶段划分

需要依据调查工作的目的来选择工作策略。污染场地调查工作的开展通常可能与不动产的购买或出售有关,将用来判断场地是否存在污染或是否需要进行修复治理。这些导则主要服务于与人体健康和环境风险评估相关的调查,以及为控制风险而可能采取的后续修复措施。

当总体工作原则明确后,可将工作过程分为以下几个阶段:

- 初始调查阶段。
- 采样调查阶段。
- 修复阶段。
- 过程监控与评价阶段。

阶段划分作为一种有益的工作方法,可将各项必须完成的任务进行合理区分。在每个阶段完成之后,将评估采取下一步措施的必要性。因此可以说,阶段划分旨在优化上个阶段所获得的信息,并进一步规划好下一步的行动。

已经启动实施的项目并不一定再遵循该阶段划分方式。有些阶段也可以同时报备(例如,初始调查阶段和采样调查阶段),而有些报告也可以在同一个阶段内完成(例如,采样调查阶段的初步采样调查和补充采样调查)。

某些特定行业的调查和修复活动已广为人知。这意味着一些场地的的工作阶段可以进一步“整合”。此外,许多场地已有可利用的地图信息^[1]和基础筛查信息,因此初始调查阶段和采样调查阶段是重叠的。

为尽可能合理地实施调查和修复,需要基于对场地的已有认识,恰当地选择策略并划分工作阶段。在某些情况下,调查及修复活动可与一般建筑和建设项目的流程进行衔接^[2]。下面将简要描述四个工作阶段中的内容。

本导则中各工作阶段和各章节的联系如图 2.1 所示。

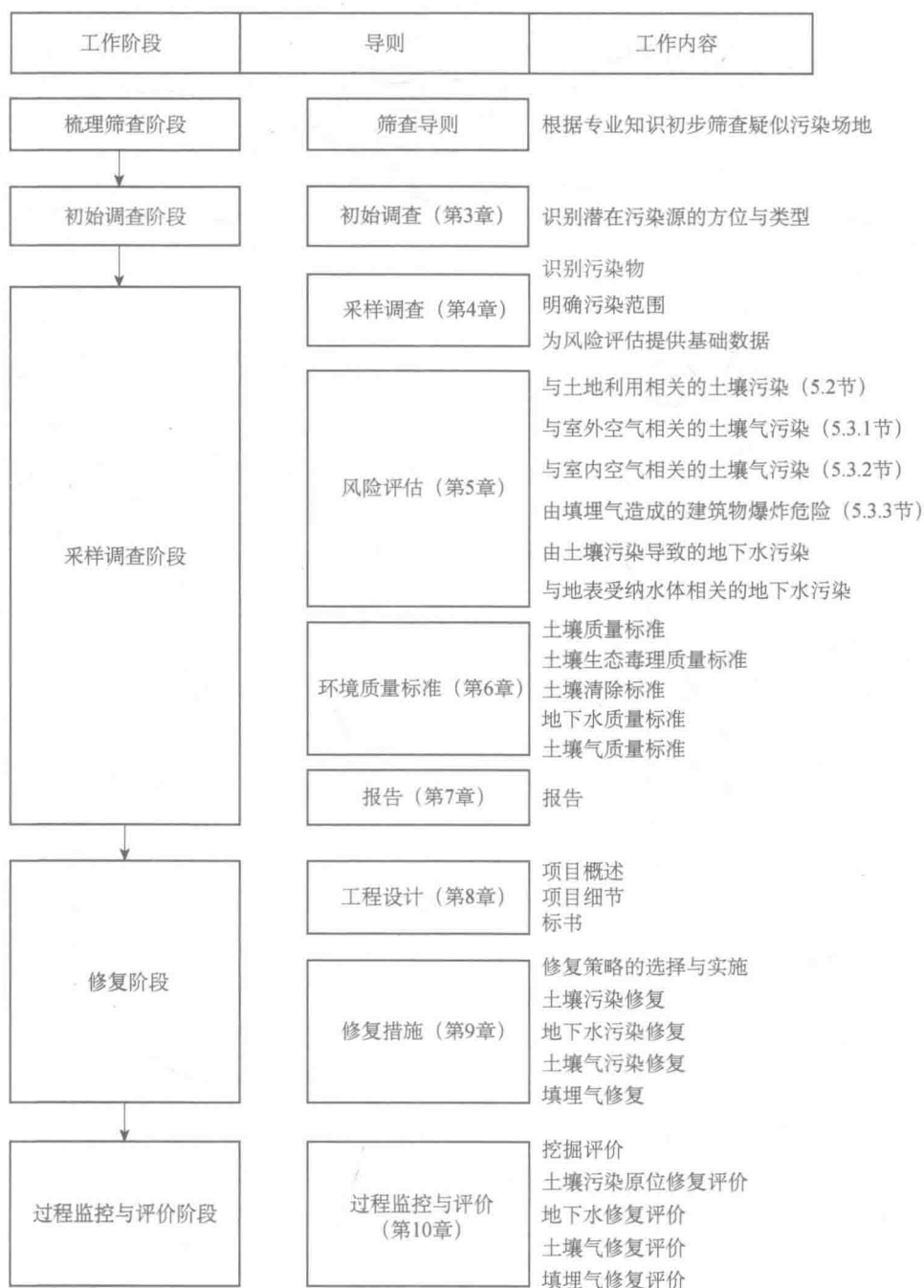


图 2.1 工作阶段划分

2.2 初始调查阶段

该阶段旨在为后续污染场地调查提供支撑的资料。

在初始调查过程中，应尽可能收集可支撑后续场地调查任务的相关信息，包括现有的图表和地图信息。为了推测潜在污染物及其分布，通常还需要收集场地前期的相关评估资料。

2.3 采样调查阶段

2.3.1 目标

污染场地调查的目的主要包括：

- 收集风险评估所需的代表性数据。
- 分析土壤污染的范围与程度。
- 识别由有害物质挥发所导致的建筑物室内空气污染问题。
- 识别由填埋气导致的建筑及设备的爆炸风险。
- 分析污染物在浅层、深层地下水及地表受纳水体中的扩散。

采样调查阶段的主要内容包括：

- 采样及分析。
- 风险评估。
- 报告。
- 初步修复计划。

调查技术包括钻孔、土壤、水及空气样品的采集，以及样品性状记录和样品的检测分析。

采样工作应根据调查目的进行设计，以确保样品数量和样品选取能够满足项目要求。具体要求可参考《土壤采样与分析导则》^[3]。

如在调查工作启动之前，已预判到场地可能需要开展修复，则应以服务后续修复工程为目标设计调查方案。

为获取地下水、土地利用和地表受纳水体风险评估所需要的数据，应综合使用野外调查和实验室分析手段。

调查和风险评估结果应及时报备。当调查工作分阶段开展时，如初步采样调查和补充采样调查，则应分别报备。当然，所有的分析结果均应纳入风险评估中进行整体性考量。

如场地确需开展修复治理活动，则调查阶段还应提供初步修复项目计划。在制定初步修复项目计划之前，应与管理部門就不同的修复技术方案进行讨论。

2.3.2 初步采样调查

该工作以前期收集到的初步调查信息为基础，旨在检验初始调查阶段所提出的污染假设，判断场地的污染状况。

土壤钻孔通常应设置在最有可能发现污染物的位置或对土壤污染较为敏感的土地开发区域，并据此进一步明确污染范围。

土壤钻孔数量要求详见第4章和《土壤采样与分析导则》^[3]。

为了捕捉污染源的污染强度，最好在污染源或地下水流向的下游打井，采集地下水环境样品。为合理估计污染源强，也应考虑地下水监测井与污染源之间的距离及相应的稀释作用。

为了捕捉污染源强，有时可能也需要在蓄水池或管道附近的砂石中采集地下水样。

最终的采样方案应基于初始调查阶段收集到的数据制定。此外，还应准备初步的检测分析计划。

初步采样调查过程中的检测分析计划通常是十分概要的。在补充采样调查中，当污染问题已较为明确时，则应准备一个更具体的检测分析计划。

初步采样调查应明确是否有足够的证据来表征场地污染，是否可以据此开展可靠的、有代表性的风险评估。

如果初步调查采样表明该场地存在污染，且还需要更详细的信息，则应准备补充采样调查方案。

2.3.3 补充采样调查

补充采样调查旨在进一步阐明在初步采样调查阶段所发现的问题，主要包括：

- 针对接近表层的土壤或地下水污染问题，给出关于其类型、污染严重程度、污染范围的更详细描述。
- 明确土地开发利用的可能性。
- 针对场地或其附近的现有建筑及设施，评估室内空气污染问题，包括垃圾填埋气体的风险（通过下水道系统或地下水传输污染物）。
- 评估污染物对更深的地下水含水层或附近的地表接纳水体可能造成的影响。
- 如有需要，提供初步的修复计划。

如果修复确有必要，补充采样调查工作应能为一个或多个修复计划提供数据支撑。初步的修复计划应包括基本技术解决方案的概述，以及成本和时间表的粗略估计。

2.3.4 风险评估

风险评估是针对特定污染物对环境与健康所造成影响的评估，旨在明确采取修复措施的必要性。

风险评估需要以污染物类型、污染物运移、暴露途径，以及在特定情况下涉及的敏感受体的具体情况和信息为基础。风险与土地利用形式、土壤气或地下水等相关，不同类型的风险应区别对待、独立评估。

土壤质量标准用于有关土地开发利用的风险评估。只要满足这些土壤标准，场地可以不受限制的使用，包括那些对污染非常敏感的用途。此外，有些污染物还有清除标准。这类标准划定了需要切断与污染土壤接触的界限值。修复原则（如清理深度）及土壤污染风险评估的原则详见 9.2 节。应当指出的是，符合土壤质量标准，不一定满足土壤气和地下水标准。

在污染场地上，建筑物室内和室外空气可能受到潜在土壤或地下水污染的严重影响。该影响应采用已推出的各种方法进行分阶段评估，部分阶段还包括理论计算模型。风险评估时应应对蒸气入侵污染予以关注，确保不得超过可接受的污染水平。

填埋场上或者附近建筑的甲烷爆炸风险也可分阶段进行评估。

地下水风险评估旨在评估土壤或浅层地下水污染是否对地下水资源造成严重污染。地下水质量标准服务于该风险评估，要求所有含水层均应达标。评估可以分阶段进行，一般从简单的评估开始。如果这种评估不能证明风险不高，则应进行更复杂的计算，且应考虑污染物的吸附、扩散和降解作用。此外，地下水评估结果还为地表受纳水体的风险评估提供依据。

如果风险评估确认人体健康或环境面临风险，则在采取修复措施前，应告知污染场地现场或附近的居民如何进行防护。

2.4 修复阶段

修复阶段旨在详细设计和实施必要的修复措施。修复的目的是消除污染物、限制暴露或防止污染物进入土壤、水或空气中。

修复举措千差万别，可以是简单的表层土壤挖掘，也可以是长期抽出处理污

染地下水，或者是复杂的原位治理。

在制定详细修复方案的过程中，通常有必要针对特定修复技术开展一定的补充采样调查。例如，提供更详细的污染范围信息，或在采用气相抽提技术时开展必要的抽水试验。

如果污染物浓度低于清除标准，则可参照《轻度污染区居民行为建议》导则^[4]采取适当的预防性措施。

2.5 过程监控与评价阶段

过程监控与评价阶段旨在检验修复成效。

在启动该阶段之前，应首先明确相关测量参数的操作流程，包括确定预警值（用于调整修复措施的临界值）、结束值（用于结束过程监控与评价的临界值）。为确保达到修复成效，需要持续开展过程监控和跟踪评估，因此还应明确相应报备工作的频率和形式。

2.6 信息发布策略

依据活动范围，告知受影响的居民当前正在开展的活动内容。这种信息发布应该是整个调查整治过程的一个组成部分。高质量的信息能确保修复活动尽可能顺利地进行。

负责人有义务为居民提供必要的信息，可以通过发布告示来完成。最好通过信息发布会的形式通知当地居民，可辅以告知函。

在整治行动开始前，居民应得到相关通知。信息发布贯穿整治全过程，需告知当事人有关举措、结果、结论和后果。此外，还应包含完整的时间计划表，包括后续信息的发布计划。

3.1 简介

在初始调查中，应获取相关场地当下可用的所有信息。对大多数工业场地而言，该工作的主要目的是确定潜在污染源的性质和位置。

初始调查阶段所收集的信息为后续采样调查过程提供基础资料。因此，需要高度重视初始调查工作。

初始调查包括：

- 收集有关场地利用的历史数据^①。
- 采集该地区的地质和水文数据。
- 现场踏勘。
- 评估所收集的数据，并预判潜在污染。

3.2 场地历史和当前用途

应尽可能通过获得的数据来说明场地历史和当前用途：

- 场地的精确位置和范围。如果场地曾被拆分过，我们需要注意之前的场地范围比当前要大。
- 各类建筑活动及可能的地形改造活动。
- 现有企业类型，以及按时间顺序排列的其他土地用途。
- 依据生产信息（包括使用过的设备和工艺）来识别该场地上所有潜在的污染活动。由于生产方式可能已发生改变，因此还需要针对企业运营的不同时期来收集信息。

可从不同途径获取相关信息，表 3.1 列出了一些有用的信息来源。根据以往的经验，信息来源可分为主要来源和辅助来源两类。最重要的信息可以从主要来

^① 原书此处有部分内容，限于篇幅未译。——译者注