



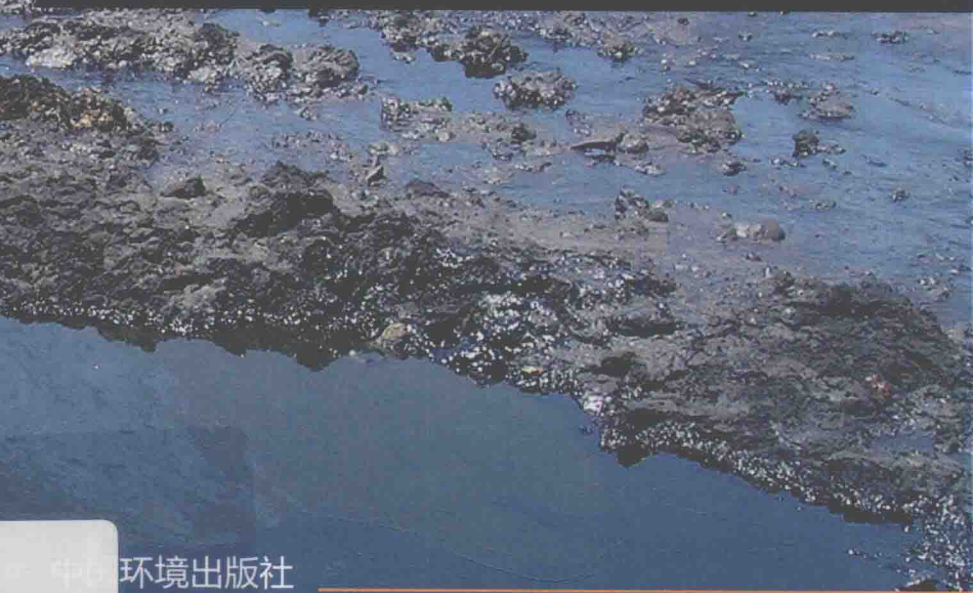
污染场地修复案例

意大利工业行业环境整治实践

周友亚 李发生 余立风 丁 琼 主编

**ITALIAN PRACTICE ON
CONTAMINATED SITES**

PRACTICAL CASES FROM SELECTED
INDUSTRIAL SECTORS



中国环境出版社



污染场地修复案例

意大利工业行业环境整治实践

周友亚 李发生 余立风 丁 琼 主编

**ITALIAN PRACTICE ON
CONTAMINATED SITES**

PRACTICAL CASES FROM SELECTED
INDUSTRIAL SECTORS

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

污染场地修复案例：意大利工业行业环境整治实践 / 周友亚等
主编. —北京：中国环境出版社，2015. 10
ISBN 978-7-5111-2550-7

I. ①污… II. ①周… III. ①工业污染防治—
研究—意大利 IV. ① X321. 546

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 221606 号

英文书稿编辑：Marco G. Cremonini, Eugenio Napoli

英文文本编辑：Barbara Grosso, Belloro

图形设计：Iris Masini

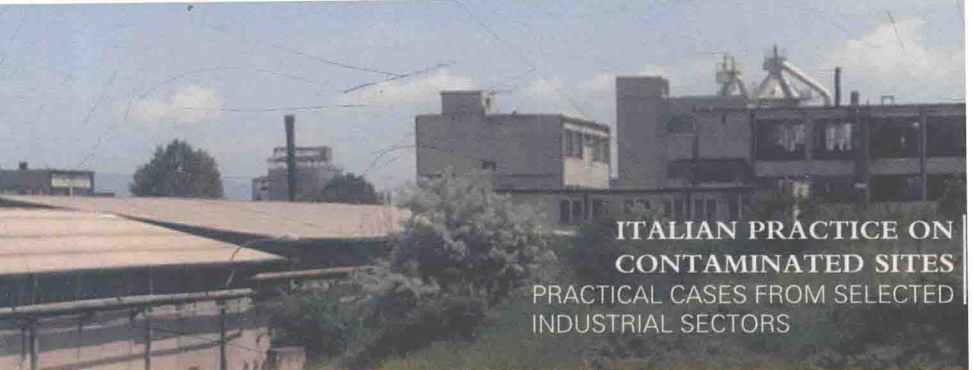
出版人 王新程
责任编辑 连 斌
责任校对 尹 芳
装帧设计 金 喆

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址：<http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱：bjgl@cesp.com.cn
联系电话：010-67112765 (编辑管理部)
010-67110763 生态 (水利水电) 图书中心
发行热线：010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2016 年 1 月第 1 版
印 次 2016 年 1 月第 1 次印刷
开 本 880×1230 1/32
印 张 6.375
字 数 200 千字
定 价 50.00 元

【版权所有。未经许可，请勿翻印、转载，违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换



**ITALIAN PRACTICE ON
CONTAMINATED SITES**
PRACTICAL CASES FROM SELECTED
INDUSTRIAL SECTORS

编译委员会

主 编 周友亚 李发生 余立风 丁 琼

编 委 颜增光 吴广龙 张超艳 白利平
唐艳冬 魏 丽 苏学飞 黄金贵
周尊国 姜 晨 田亚静

污染场地是一个世界性的环境问题。

长期以来，由于工业生产、交通建设、服务设施运营、矿产资源开发、废弃物处理处置及垃圾填埋等活动，造成了土地（包括地下水）成片、成块大面积污染，形成了严峻的污染场地问题。污染场地不仅对人体健康和生态环境构成威胁，也影响到土地资源开发、城镇建设规划、房地产交易、城市环境治理等方方面面，是世界各国共同关注的重大环境问题。

美国自 20 世纪 70 年代末至 80 年代初相继发生“纽约州拉弗运河（Love Canal）事件”（1978）、“肯塔基州废桶谷（Valley of the Drums）事件”（1979）、“密苏里州时代河滩（Times Beach）事件”（1982）后，率先发起了针对污染场地的立法管理，颁布了《环境响应、赔偿与责任综合法》（即《超级基金法》）。与此同时，许多工业发达国家也因污染场地（土地）问题颁布了相关的法律法规。发达国家针对污染场地（土地）的立法管理推动了场地调查、评估和修复技术的快速发展，促进污染场地环境管理不断走向规范化、系统化和标准化，形成了当前国际上相对比较完善的污染场地法规、政策、技术和标准体系，这在客观上也为后发展国家开展污染场地环境管理与治理提供了很好的经验借鉴和技术参考。

我国是一个工农业快速发展的国家。长期以来，伴随着大规模的工业化、城市化和农业集约化发展，环境污染问题日趋突出，已成为制约我国经济和社会发展的“瓶颈”。在我国，造成场地污染的主要工业活动及行业类型包括采矿业（煤炭、石油、金属）、化



工制造业、金属制造业、石油加工业、炼焦业、造纸业、电子设备加工制造业、能源与电力供应业、废弃资源处置和回收业等。我国污染场地类型多、面积大、范围广、程度重，是城市发展、城镇环境治理和土地安全开发与利用过程中亟待解决的重大环境问题。

近年来，国家和政府对污染场地问题高度重视，先后发布了一系列关于加强污染场地环境管理和治理的通知要求与指导意见。同时，环境保护部也于 2014 年 2 月制订颁布了《污染场地术语》（HJ 682—2014）、《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）和《污染场地土壤修复技术导则》（HJ 25.4—2014）等技术标准，有力地支撑了我国场地调查、监测、评估和修复工作的开展。然而，我国在污染场地环境风险管理和治理方面的基础相对还比较薄弱，至今只完成了少量污染场地的调查评估和修复治理，社会对场地风险管控的对策、技术、方法、标准和措施还有很大的诉求，亟待加强自主创新和先进技术的引进、消化、吸收和再利用。“他山之石，可以攻玉”，发达国家在污染场地调查、评估、修复和管理方面的先进技术、实用方法和实践经验，可以为我国污染场地的环境管理与治理提供有益的参考。

意大利是一个工业高度发达的国家。自 1989 年 5 月起，意大利便开始对污染土地进行立法管理（环境部 185 号令，D.M. 185/89）。经过近 30 多年的实践与发展，意大利在污染场地法律法规建设、制度与管理体系建设、标准与技术体系建设、国家档案



ITALIAN PRACTICE ON CONTAMINATED SITES PRACTICAL CASES FROM SELECTED INDUSTRIAL SECTORS

建设等方面取得了卓越的成就，在危险废物污染场地修复、油田和废弃矿山恢复、遗留遗弃工业污染场地治理与修复、溢油或事故场地应急处理与治理、垃圾填埋场治理与修复等方面积累了大量的先进技术和管理经验，值得中国借鉴。

由中国环境科学研究院组织编译的《污染场地修复案例——意大利工业行业环境整治实践》一书，总结了 28 个典型工业行业污染场地调查、评估和修复案例，比较系统、全面地介绍了意大利在污染场地环境管理和治理方面取得的重要成果、先进技术和管理经验，对我国从事污染场地环境修复、环境工程实践、环境风险管理和技术咨询服务工作的人员有很好的参考和借鉴意义，对从事环境污染治理技术研发和环境科学基础与应用研究的科学家及技术人员也有重要的参考价值。

李伟

中国工程院院士
中国环境科学研究院院长
2014 年 10 月 20 日



前言

《污染场地修复案例——意大利工业行业环境整治实践》是 D'Appolonia 公司联合 ISAF 公司与中国环境科学研究院 (CRAES) 共同承担的“污染场地与土壤修复管理技术支持 II 期”项目的主要成果, 该项目是中国—意大利环境保护合作项目 (SICP) 框架的一部分, 由意大利环境、领土与海洋部 (IMELS) 和中国环境保护部对外合作中心 (FECO-MEP) 资助。项目旨在就国际上污染场地管理方面的技术和法律法规进行沟通与交流, 尤其关注适用于不同行业类型的污染场地管理最佳方法和技术。

编写本书的目的在于, 在参考和借鉴意大利污染场地管理实践和经验的的同时, 也可从相关场地调查和修复项目中汲取经验和教训。本书选择了一批意大利的场地实践案例进行详细介绍, 场地种类涵盖了目前中国比较关注的重要行业类型, 包括石油 (炼油厂和储油站)、焦化、钢铁和金属处理 (铣削、镀膜)、铝厂和有机化工厂 (塑料生产、化肥和农药厂) 等。同时, 涉及部分无节制排放污染物的前垃圾填埋场和掩埋储存区的修复案例, 也有个别关于工厂拆迁的案例。

针对每个案例, 书中介绍了场地污染特征、概念模型和通过特定场地风险评估确立的修复目标值, 以及所采用的修复方法和技术, 探讨了选择修复技术的标准, 并对不同技术在土壤和地下水修复活动中的应用进行了描述, 总结了实施场地修复活动所需的费用, 并简要介绍了参与场地修复过程的主要利益相关方 (如行政部门、私营企业、咨询服务人员等)。

本书由周友亚研究员主持编译, 其他参加编译的人员及分工如下。引言: 周友亚、颜增光; 案例 1~5: 周友亚、魏丽; 案例 6~10: 颜增光、苏学飞; 案例 11~15: 白利平、唐艳冬; 案例 16~20: 张超艳、黄金贵、周尊国; 案例 21~22: 李发生、张超艳; 案例 23~24: 余立风、吴广龙; 案例 25~26: 丁琼、姜晨; 案例 27~28: 吴广龙、田亚静。全书由周友亚研究员统稿、定稿。本书在出版过程中得到了孟伟院士的悉心指导与帮助, 在此表示诚挚的谢意!

由于作者水平有限, 书中难免存在疏漏之处, 敬请各位同仁批评指正。

周友亚

2014 年 10 月于北京



致谢

经过中意双方科学家及参与项目规划、协调和运行管理的行政部门的共同努力，终于完成了案例书稿的编著、编译以及中意合作“污染场地与土壤修复管理技术支持”项目的结题。首先，我们要感谢中国环境保护部环境保护对外合作中心主任陈亮先生和意大利环境、领土与海洋部（IMELS）部长 Corrado Clini 先生为本书的出版所给予的支持与鼓励。

在项目的协调工作中，中国环境保护部环境保护对外合作中心李培副主任及意大利环境、领土与海洋部的 Massimo Martinelli 先生提供了诸多有关国际合作方面的经验指导、帮助与支持。还要特别感谢丁琼女士、唐艳冬女士、孙阳昭先生、吴广龙先生、贺信女士、丁杨阳女士和石琳女士，他们出色的管理工作保证了项目的顺利进行，并促进了合作团队的建立。

作者在此也想对环境保护部生态司土壤处处长张山岭先生表示由衷的谢意，感谢他为项目工作内容的设计提供了指导和帮助。

本书由 D'Appolonia 和 I.S.A.F 公司的项目团队及中国环境科学研究院（CRAES）的项目组成员共同编制完成。中国环境科学研究院李发生总工程师对项目给予了指导，周友亚博士担任项目负责人，颜增光博士担任技术专家，张超艳女士负责中意双方的沟通与协调。Luigi Torriano 先生担任项目主管，Marco Cremonini 先生和 Giovanni Ferro 先生担任协调官员；Eugenio Napoli 先生、Barbara Grosso 女士、Chiara Giacchino 女士和 Federica Belloro 女士负责整个项目的实施与运行；段锴先生、孔东东女士和李子昂先生负责中意双方的沟通与协调，并在项目运行及中国境内的各种会议、活动中提供重要的技术支持。

项目团队在实践案例结果的汇总阶段还得到了 Iris Masini 女士和 Michela Sacco 女士的帮助，她们负责所有图形和文本资料的整理与制作。

缩略词

BGL	地面以下	ORC [®]	释氧化合物
BTEX	苯系物	PAHs	多环芳烃
CHC	氯代烃类化合物	PCBs	多氯联苯
COCs	关注污染物	PCE	四氯乙烯
DNAPL	重质自由相物质	POPs	持久性有机污染物
FECO	对外合作中心	PSH	相分离烃
GW	地下水	PVC	聚氯乙烯
HC	碳氢化合物	RA	风险分析
HCH	六氯环己烷	RBACs	基于风险的允许浓度
HDPE	高密度聚乙烯	SSTLs	场地特定目标值
IMELS	意大利环境、领土与海洋部	TCE	三氯乙烯
ISTD	原位热脱附	TD	热脱附
LDPE	低密度聚乙烯	TLC	阈值浓度
LNAPL	轻质自由相物质	TPH	总石油烃
MCD	机械化学脱卤	VOCs	挥发性有机化合物
MEP	环境保护部		
NAPL	自由相物质		

引言 / 1

有机化工厂 / 3

1 农药生产	4
2 氯乙烯生产废物堆放区	14
3 制革厂	20
4 化学废弃物填埋场	26
5 化肥生产	31

石油行业 / 37

6 油库和输油站	38
7 储油设施场地	47
8 罐区和泵站	52
9 炼油厂罐区	59
10 油库	65
11 井喷场地	74
12 管道溢油场地	82
13 石油管道泄漏	87
14 炼油厂	91
15 金属加工液生产厂	101
16 加油站	106



焦化厂 / 111

- 17** 搬迁的焦化厂 | 112
- 18** 运营中的焦化厂 | 119

钢铁行业 / 127

- 19** 烧结、焦化和高炉 | 128
- 20** 熔炉和铣削场地 | 136
- 21** 铣削和电镀污染土壤及地下水修复 | 143
- 22** 辅助区 | 150

有色金属行业 / 157

- 23** 铅锌冶炼厂 | 158
- 24** 铬生产厂 | 165

其他行业 / 171

- 25** 采矿垃圾填埋场 | 172
- 26** 电子厂 | 177

场地拆除作业 / 183

- 27** 退役铣削和电镀厂 | 184
- 28** 烧结、焦化和高炉退役场地 | 188



引言

早期污染场地修复往往要求最大限度地去除土壤污染物，以降低土壤污染带来的风险。然而，随着对污染场地认识的提高和管理经验的积累，以及政策导向、经济条件要求和技术进步等的发展，人们逐渐发现这种僵化和激进的要求在技术和经济上都是很难实现的，于是对单一清洁标准提出了质疑，即“多清洁才算清洁？”（How clean is clean），同时也遇到了大量污染场地涌现所带来的经费上的严峻挑战。欧美等国在多年的修复实践中逐渐认识到场地修复需结合考虑城市规划、环境安全、经济效益等因素，其修复要求不再以降低土壤污染物浓度为唯一目标。本书通过对意大利 28 个案例场地进行梳理与总结，既介绍了意大利在土壤环境保护与污染控制方面的先进方法和技术，也指出了场地管理过程中的经验与教训，在推动我国土壤环境监管与修复工作方面给人诸多启示。

一、通过优化和调整城市建设项目规划，使修复需求最小化

早期欧美通常采用最严格的环境治理标准，能一劳永逸地确保修复后的土地满足任何类型的土地使用要求。然而高额的修复成本和较长的修复过程很难被修复责任方和政府所承受。因此，欧美相关组织尝试在污染地块修复治理过程中引入与未来土地利用规划相协调的机制，尽量使修复与土地的再开发利用相结合，通过调整土地利用规划，并结合部分挖掘并处理浅层及污染较重土壤的修复方式，在充分保障人体健康的基础上使修复需求最小化。

二、采取安全措施阻断污染扩散和 / 或暴露途径，减少修复量

污染场地风险管理框架强调源—暴露途径—受体链，关注修复技术

的选择及环境效益。基于风险管理理念,采取安全措施阻断污染扩散和/或暴露途径是国外目前常用且经济有效的手段。当污染暴露途径以室内蒸气吸入为主时,可以考虑在污染区域建筑物底部混凝土下方铺设蒸气密封土工膜,以阻断蒸气吸入暴露途径;当以接触表层污染土壤为主要暴露途径时,可以考虑在污染土层上方浇筑水泥地面或铺设一定厚度的干净土壤来阻隔土壤直接接触途径。当然由于采取了阻隔措施,对建筑物的构建也会提出相应限制和要求。相信未来在我国风险管控措施会在场地修复管理中占越来越大的比重。

三、合理确定修复目标和理解修复需求,避免场地过度修复

使用过于保守的修复目标值将导致过度圈定待修复地块,浪费大量财力、人力和物力。由于对风险评估基本过程和概念的不理解,甚至常把国家或地区筛选值直接当作修复目标值,导致场地过度修复的现象在我国普遍存在。基于对污染物基本特性及对污染场地水文地质等特点的充分了解,针对特定污染场地确定特定修复目标值,选择并制定对特定污染场地切实有效且经济可行的修复策略是有效降低人体健康风险并避免过度修复的有效办法。

四、加强移除及处理后土壤的管理和再利用,最大节约成本

目前污染土壤修复后主要用于填埋,但由于填埋场所有限,填埋费用也偏高,所以在欧洲通常会采取各种回收利用技术将土壤尽可能最大限度地回收利用,以减少填埋体积。通过案例学习,参考并吸取国外污染土壤再利用和管理的经验,有助于研究适合我国国情的污染土壤再利用和管理模式。

总之,根据场地污染特征,结合城市土地利用规划,以资源可持续利用为出发点,综合考虑社会效益、经济效益、生态和环境效益,开展污染场地土壤和地下水的绿色、可持续修复,维护土地可持续利用将是场地修复和管理未来发展方向。



有机化工厂

农药生产

氯乙烯生产废物堆放区

制革厂

化学废弃物填埋场

化肥生产

1

农药生产



引言

案例介绍了东欧一个废弃有机化工厂的修复情况。该厂建于 1964 年, 1977 年之前一直生产洗涤剂 and 农药, 之后为适应市场和改善环境, 停止生产农药林丹 (lindane)。但由于化工生产历史悠久已对周边环境造成了影响, 开展场地调查时部分场地设施已经被拆除。

工厂总面积约为 90 万 m^2 , 待处理场地面积约 10 万 m^2 , 包括 HCH 废置区和主要生产单元。

2004 年 3 月《斯德哥尔摩公约》(Stockholm Convention) 获得批准后, 启动了旨在减少和消除持久性有机污染物 (POPs) 的国家计划框架, 该项目即在该框架任务内。

项目目的是对林丹和其他 POPs 污染进行详细的修复可行性研究, 并对适用于清理受污染土壤的修复技术进行方案设计, 以便筹措项目资金。

场地特征

区域地质结构受厂区北部一条河流主干影响, 干流距离厂区 2 km 。厂区东面约 1.6 km 处有另一条河流经过, 厂区东南方向约 5 km 处有一居民区, 常住人口约 $50\,000$ 人。

厂区地面以下 $10 \sim 12 \text{ m}$ 深度范围内有一个相对不透水层, 初步认定为浅层含水层的底板。地下水自西南向东北流向干流。

企业运营期间, 采用苯的光氯化反应技术制备六氯环己烷 (HCH), 但产物中也含有其他 HCH 异构体, 这些异构体按废物处理, 大约有 3 万 t 含 HCH 异构体废物临时存放在堆场中。20 世纪 80 年代, 场地关闭后, 林丹车间设备被拆除, 留下两座空的建筑物。研究区域位于工厂房西北部 (大约 10 万 m^2), 具体分区: