

# 我国污染场地修复决策系统研究进展

张保会, 王林芳, 郭宏, 韩文辉, 党晋华\*

(山西省环境科学研究院, 太原 030027)

**【摘要】**自2016年《土壤污染防治行动计划》实施以来,随着污染土壤修复工作的推进,因场地污染类型、污染程度以及土地规划类型等因素的不同,如何筛选出科学、合理、高效、低耗的修复技术显得尤为重要。在此背景下场地修复决策系统应运而生,即通过输入修复过程所有要素并结合专家判断,修复决策系统运算得出最佳修复模式,为管理者提供决策依据。本文在分析国内外修复决策系统的发展现状、特点以及优势和劣势基础上,以焦化污染场地为例拟开发基于WebGIS的污染场地修复辅助决策系统,以找出适合我国污染场地修复决策的模式,为从事相关工作的研究者和决策者提供参考。

**【关键词】**污染场地修复;决策系统;研究进展

中图分类号:X53 文献标识码:A 文章编号:1673-288X(2021)02-0138-06 DOI:10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202102138

在我国工业化和城市化快速发展进程中,产生了大量的污染或潜在污染场地,它们威胁着周边居民的身体健康,并显著影响土地和地下水资源的安全使用<sup>[1]</sup>,这样的场地简称为“棕地”。据统计,我国由工业企业搬迁而遗留下来的“棕地”超过50万块<sup>[2]</sup>,成为许多大中城市土地资源安全再利用的限制因素。2000年以来,全国多个城市发生环境污染事件引起了社会各界的广泛关注。污染场地修复遂成为当前我国政府、涉事业主和修复行业所面临的亟待解决的严峻任务。

污染场地修复是一项复杂的、耗资大、耗时长的艰巨工程,对此发达国家每年要投入大量的资金<sup>[3]</sup>。修复方案抉择是多目标求解过程,要求综合考虑修复行为引发的系列后果,诸如产生二次污染物,能源及稀缺资源的过度消耗等<sup>[4]</sup>。修复行动涉及污染场地基础数据管理、生态风险评价、修复技术可行性筛选、场地再利用方案的社会经济效益评估等问题<sup>[5-6]</sup>。我国场地修复研究起步较晚,且处于土壤污染问题暴发初期,并没有足够的基础积累和应用技术储备,更缺乏有效的法律

法规及环境管理框架体系<sup>[2]</sup>。2004年,原国家环境保护总局发布《关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知》(环办[2004]47号),第一次明确要求在重新利用污染场地之前,必须对场地进行调查、评估和修复,自此开启了我国场地修复的战略性新兴产业。在借鉴国际先进理念和经验基础上,2011年以前我国土壤环境学者主要着力于污染场地管理和风险评估研究,同步开展了场地调查和修复技术的相关研究,取得了土壤修复研究的初级阶段成果。2011年,国务院发布的《国家环境保护“十二五”规划》将土壤污染修复列入重点工作后,我国进一步开展了场地修复决策系统研究。2014年5月,中国科学院南京土壤所污染场地修复中心陈梦舫团队<sup>[2]</sup>自主开发成功的我国首款污染场地土壤与地下水健康与环境风险评估(Health and Environmental Risk Assessment, HERA)软件,成为我国建立健全污染场地可持续性环境管理体系框架的重要工具。2014年7月,原环境保护部为规范场地环境调查与监测、风险评估与土壤修复,发布了《场地环境

基金项目:科技部2019国家重点研发计划项目“京津冀及周边焦化场地污染治理与再开发利用技术研究与集成示范”(2018YFC1803003)

作者简介:张保会,院长,高级工程师,学士,主要研究环境科学与管理

通讯作者:党晋华,学士,主要研究方向为土壤污染防治与修复

调查技术导则》等四项技术导则。2016年国务院印发实施《土壤污染防治行动计划》,立足我国国情制定了我国土壤污染修复的行动纲领。在上述政策背景下及专业技术规范出台之后,我国土壤环境研究学者正在致力于污染场地修复决策的本土化专业化研究。本研发团队以焦化污染场地为例,拟开发适合我国国情的基于WebGIS的污染场地修复辅助决策系统,以期为场地修复研究者、政府和企业决策者建立一个共享工作平台,集网络化、标准化、集约化于一体的污染场地在线管理平台,旨在服务于场地管理的全生命周期。

## 1 污染场地修复决策系统基础

污染场地修复决策支持系统是在启动耗资巨大的修复行动之前,通过数据集成、软件模拟、专家评判等科学方法,筛选恰当的污染控制与修复技术,制定环境经济可行的修复方案,构建综合评估智能系统<sup>[7-8]</sup>。总结场地修复决策过程,一般可分为三个阶段。第一阶段通过场地调查确定污染类型;第二阶段通过风险评价,初筛场地修复技术;第三阶段通过筛选分析确定最佳修复技术。为此一些学者提出了污染场地修复技术初筛矩阵<sup>[9-10]</sup>。通过初筛矩阵,决策者及技术人员能够便捷地筛选出适用的修复技术、费用、时间和效果等。而场地决策支持系统则是一种辅助决策工具,决策者借助其对所掌握的现有场地信息进行全面分析,使得复杂的决策过程程序化、透明化。

数据库和模型库是构成决策支持系统的两个基本要素<sup>[11]</sup>,其中数据库为模型库、方法库和对话系统的根本基础。它将场地历史、监测调查、遥感影像和数字地图等多源数据集成为一个完整标准的空间——属性数据库,内含场地修复技术数据、环境基础数据、污染源数据、修复技术筛选数据、工艺参数数据等。其中模型库为关键部分,行使分析决策职能。它运用风险评估、修复技术筛选、三维地统计插值、修复后评估等模型,结合推理、比较、选择和分析等逻辑技术,来科学合理地制定修复方案。为促进系统结构清晰,方法库从模型库中分离,它为求解模型提供计算机算法,是模型应用的后援。它包含不确定性分析、模型精度评价、修复目标计算、数理统计、经济数学方法

等。场地修复过程非常复杂,在基本要素和通用步骤基础之上,需要累积一些专业经验和交叉学科知识附加等,因此修复决策系统需要涵盖专家咨询系统。

早在20世纪90年代初期,发达国家就开发应用环境决策支持系统<sup>[3]</sup>来解决环境问题,随后在国际土壤修复界,多样化的污染场地修复决策系统应运而生<sup>[5]</sup>。由于各地区间土壤及污染源类型多元化复杂化、经济发展差异很大,修复决策系统的确立需要依据不同经济、社会和环境特点,所以因地制宜地精准建立修复决策系统是必要的。

## 2 污染场地修复决策系统发展现状

决策框架是修复决策系统的核心,它以框架图形式直观完整地表达了整个决策程序。场地的环境背景及污染特征各异,修复决策的基本步骤却是相似的<sup>[12-14]</sup>。国际修复领域研发的修复决策框架有四十多种,以下具体介绍五种典型国际框架和国内研发情况。

### 2.1 国外修复决策系统发展现状

US EPA(U.S.Environmental Protection Agency)美国超级基金场地管理系统是一款最具代表性的污染场地修复决策系统<sup>[15]</sup>,其基本程序如下:场地识别—初步评估—初步调查与扩大调查—风险评估—拟议列入优先场地名录—潜在责任者确认—列入优先场地名录—修复技术组合运用调查与可行性研究—公告方案—工程设计与实施—运行与维护—五年跟踪监测—退出优先场地目录。该系统程序严谨,极具借鉴价值,但是其中包含的污染物种类、评价标准、技术参数均需本土化,从场地识别到列入优先名录过程中相互重叠的工作应作精简,还有近期发展的先进修复技术应及时扩充,其中的修复资金渠道也应本土化。

NATO/CCMS(North Atlantic Treaty Organization/Committee on the Challenges of Modern Society)试点工程开发的修复决策框架:2000年6月,Bardos等<sup>[16]</sup>在北大西洋公约组织成立的现代社会挑战委员会召开的决策支持专题会议上,提出了典型污染场地修复决策框架,仅适于列入优先场地名录后的工作过程。其包括修复目标及评价

指标的确定、决策过程和最终决策三个阶段。框架内含五个技术环节:(1)收集场地基本信息和数据,包括土壤性质数据、水文地质数据以及污染源、暴露途径和污染受体等信息;(2)建立场地概念模型;(3)运用统计分析方法,分析土壤污染物特征、迁移规律和分层浓度,以及地下水流场和污染物迁移过程,解析二者对人体健康风险评价结果;(4)风险值与修复技术工作接口,初筛方案;(5)传输备选方案到专家库中进行最终决策。它扩充了修复决策的专家知识,充分表现了修复决策过程标准化及再现性。该框架未涉及场地调查和风险评价过程,不适于大批量的污染场地全程序动态管理过程。

DESYRE(Decision support system for remediation of contaminated sites)修复决策框架:意大利威尼斯研究联合会与威尼斯大学学者 Critto<sup>[3]</sup>和 Carlon 等<sup>[17-18]</sup>针对大型污染场地,联合开发提出了基于 GIS 的 DESYRE 修复决策框架及软件。其风险评估模块包括两期:前期进行修复前风险评估,评估场地土壤和地下水污染现状对人体健康造成的风险;后期称为剩余风险评估,预测场地修复完成之后的剩余风险及不确定性。经济社会评估采用模糊逻辑方法筛选最佳土地利用方式;技术评估模块执行多目标决策分析法选择修复技术(组合),其决策模块根据评价指标对备选方案进行比较分析。这两大模块增加了 GIS 工具的场地模块信息可视化功能<sup>[19]</sup>。DESYRE 系统结合土地二次利用方式,分析了污染场地特征、风险评估、修复技术指标、修复成本和经济社会水平等因素,提供了污染场地修复过程中的评估与决策功能。其中经济社会评估采用模糊数学方法、两次风险评估采用概率分析方法都是该系统的特色。但其技术参数及标准尚未本土化,因而限制了在国内的应用。

URREM 修复决策框架:针对石油场地修复问题,加拿大里贾纳大学学者提出了 URREM 修复决策框架<sup>[20]</sup>。该框架为场地调查评估和管理提供构建典型,各模块功能明晰。软件将污染物传输模型、风险评估和修复系统设计集成到一个通用的框架,优化组合修复设计程序,更加便于决策者甄选修复方案。此框架针对石油特征污染物

建立三维多项多组分的风险评估模型、成熟的修复方案数据库,组成一个特定场地类型的修复决策系统。该框架为石油场地专用软件,内嵌技术标准及技术参数,但仍需本土化。

美国能源部(United States Department of Energy, DOE)和 Linkov 框架:Baker 等在美国能源部《决策分析方法指南》<sup>[21]</sup>中提出的 DOE 框架,通过数学建模步骤与过程构建系统,包括决策问题的定义、备选修复方案、建立评价标准、筛选修复方案,其方法库包括 Pro-Cons 分析法、Kepner-Tregeo(K-T)决策分析法、AHP 层次分析法、多属性效用理论法(MAUT)、成本-效益分析方法(CBA)等。它们适于多情形,包括修复问题复杂度、修复时间长度和资源限制等因素,针对决策问题的定义选择不同的方法来优化方案。同样,Linkov 等<sup>[22]</sup>提出的基于多目标决策分析方法(MCDA)的修复决策框架与 DOE 框架类同。Linkov 框架开发的软件亦运用层次结构法(AHP)、多属性效用理论(MAUT)、级别不低于方法(Outranking)等。在优选修复方案的同时,系统还具备图形可视化功能,并提供了不同决策阶段、决策者参与及决策工具应用情况。该系统构建的是解决修复问题的方法模型,对场地管理的前期、后期均未涉略,这一点与 NATO/CCMS 试点工程开发的修复决策框架相似。

上述修复框架可归纳为两类:一是根据场地评估和管理的实际工作构建主流性的框架,其遵循场地主体的认识发展规律,由调查监测评估入手,建立场地概念模型,通过风险评估确定修复目标,初筛修复技术,最后优选修复方案;二是以数学建模为工具,通过决策问题的定义、备选修复方案、建立评价标准、筛选修复方案等步骤来实现。两类框架工作切入点不同,但最终解决的目标相同,即修复方案的正确抉择。立足于我国国情现实,2020年初启动建设用地土壤污染状况详查测试工作,本土研究团队倾向于第一类框架系统构建,以适应广泛的同步性的土壤修复管控行动。

## 2.2 国内研发情况

近二十年来,伴随着场地污染问题凸显及大量棕地的二次利用问题,我国学者在污染场地修复领域相继开展了由点及面的深入研究。借鉴第

一类框架,国内学者中有潘云雨等<sup>[23]</sup>和姜林等<sup>[24]</sup>提出基于层次性人体健康风险评估污染场地风险管理与决策框架体系;罗程钟等<sup>[25]</sup>提出了 POPs 污染场地修复技术路线,陶锃等<sup>[26]</sup>提出了适于城市工业污染场地修复技术路线。借鉴第二类框架,张倩等<sup>[27]</sup>运用层次分析法(AHP)和逼近理想解排序法(TOPSIS)提出了国内污染场地修复技术筛选决策框架。

2014年5月,中国科学院南京土壤所污染场地修复中心陈梦舫团队<sup>[28]</sup>自主开发成功的我国首款污染场地土壤与地下水健康与环境风险评估软件(HERA)成为我国建立健全污染场地可持续性环境管理体系框架的重要工具。HERA软件是基于美国《基于风险的矫正行动标准指南》、英国《CLEA(contaminated land exposure assessment model)模型技术背景更新文件》以及我国《污染场地风险评估技术导则》编制而成的集成创新成果,内含20余种多介质迁移模型,收录610种污染物理化与毒性参数(持续更新中),考虑原场与离场的健康及水环境受体,可快速构建污染场地概念模型。HERA软件采用基于Windows平台的Visual Studio C#进行设计与编程,与国外同类软件相比具有运行稳定、功能全面、界面简洁、操作便利等优点。HERA软件自发布以来备受业界关注,目前已在国内多省区市的高等院校、科研院所、环保企业等单位得到推广,且已在全国多个城市的污染场地调查与风险评估项目中得到广泛应用。

借鉴第一类框架与HERA软件,2015年11月,王新秀和涂晨等<sup>[29]</sup>在污染场地修复决策支持系统的设计与实现中,采用GIS软件与可视化编程语言C#结合SQL Server 2008数据库,设计开发了污染场地修复决策系统,具有场地信息综合管理、场地特征分析和修复技术筛选三项功能,并支持在线专家咨询,辅助完成修复方案和场地修复报告编制。该系统为场地修复工作者提供了管理工具和决策参考,系统研发填补了我国场地修复决策系统之空白,将引导我国污染场地修复步入科学化、规范化、高效化、纠错化的轨道。

2016年12月,郑洪振和涂晨等<sup>[30]</sup>基于Web-GIS的污染场地修复决策支持系统,相对于王新

秀和涂晨等前期研发的单机版决策支持系统,有了进一步的改进。该系统采取的是B/S模式,用户不用安装客户端或者配置系统环境,并可以在互联网上调用免费的空间地图服务。系统保留了单机版功能,修复评估中引入了基于生命周期评估技术LCA的理念,并在流程设计和人机交互界面上做出显著改进。易用性和共享化为该系统优点,但是在数据库建设方面,如与生态环境部门污染场地分类管理系统的对接以及信息共享化的权限保障还有待完善。

借鉴第二类框架,2017年8月,陶欢和廖晓勇等<sup>[31]</sup>在应用多属性决策分析法筛选污染场地土壤修复技术中,运用层次分析法确定修复技术评价指标的权重,采用逼近理想解和灰色综合评价方法得到备选修复方案。基于该决策方法,研究者开发了修复技术筛选决策支持系统,并以某有机污染场地为案例应用软件确定修复技术。结果表明,结合层次分析法的逼近理想解法和灰色评价法均可实现科学的排序;逼近理想解法实现简单,其对评分指标要求严格,且需借助模型敏感性分析验证,适于备选项先汇总后排序;灰色评价法引入灰色理论用于处理数据的不确定性,适于专家各自评分后在灰色评价模型中进行综合。将层次分析法和逼近理想解、灰色综合评价两种方法综合应用于筛选项,一方面可以减少前者的主观性,另一方面可以削弱后者对权重的忽视。该系统能够更接近实际,采取效益最佳平衡观点解决场地技术筛选问题。

### 3 结语

国务院于2016年5月28日印发的《土壤污染防治行动计划》成为当前和今后一个时期全国土壤污染防治工作的行动纲领<sup>[32]</sup>。《土壤污染防治行动计划》要求,到2020年,受污染耕地和污染地块安全利用率达到90%以上;到2030年,受污染耕地和污染地块安全利用率达到95%以上。它有利于加快推动治理与修复产业发展,加快完善覆盖土壤环境调查、分析测试、风险评估、治理与修复工程设计和施工等环节的成熟产业链,发挥“互联网+”在土壤污染治理与修复全产业链中的作用。它指明了今后土壤修复工作的导向及工

作方法。2018年8月1日,《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》和《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》正式实施。上述政策及标准的出台将促进我国场地修复决策系统研究日趋成熟。

2017—2018年完成全国农用地土壤污染状况详查后,山西省于2020年初启动了建设用地土壤污染状况详查测试工作,将逐步完成省级土壤污染的数据库建设。值此阶段,作为土壤修复工作者,开发一套适用于场地修复的智能决策支持系统刻不容缓。修复决策系统的深度开发应用,将为政府、企业和专业人员的决策提供科学高效的工具,为广大用户参与基础库建设提供平台,有望服务于场地全生命周期,为顺利实现“土十条”目标担当基础技术支撑和强大引擎作用。

修复技术的筛选和决策是环境修复工作的关键,关乎修复工作的成败<sup>[33]</sup>,在技术引进及本土化过程中应该细致考量。借鉴前述研究成果,综合分析各类系统应用中的利弊,本文认为应在郑洪振和涂晨等<sup>[30]</sup>《基于 WebGIS 的污染场地修复决策支持系统的研究》成果基础上,建立决策系统主体模型库、方法库与对话系统。此外,本团队结合城乡土地利用用途,以人体健康风险评价为管控修复目标,进一步强化污染地块地下水修复和风险管控子模块,应用多属性决策分析法筛选污染场地土壤修复技术研究,补充完善技术筛选方法库,达到优选方案目标,建议在城乡土地规划工作中构建反馈机制。在污染场地项目个案完成上述功能的基础上,系统建立对接自然资源、生态环境管理部门的污染场地分类管理系统接口,设置系统共享分级权限,扩展场地基础数据库,形成场地污染重点监管单位名录,建立行政辖区内污染场地或例行控制场地的监测与预警系统。辖区逐步健全场地修复决策系统,完善区域数据库,实施动态监督管理,打造政府、企业与民众共享平台,为区域环境管理和场地修复提供数据和技术支撑,为农用地和建设用地可持续发展助力。

#### 参考文献:

[1] 骆永民.中国土壤环境污染态势及预防、控制和修复策略[J].环境污染与防治,2009,31(12):27-31.

- [2] 陈梦舫.我国工业污染场地土壤与地下水重金属修复技术综述[J].中国科学院院刊,2014,29(03):327-335.
- [3] CRITTO A, NADALI N, SAMIOLO M, et al. DESYRE—Decision support system for rehabilitation of contaminated sites: objectives and the International Environmental Modelling and Software Society. Integrated Assessment and Decision Support (3) [C]. Manno Switzerland: The International Environmental Modelling and Software Society, 2002: 211-216.
- [4] 逯馨华, 杨建新, 陈波, 等. 工业固废生态链的构建对区域物质流的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(11): 147-153.
- [5] 陶欢, 廖晓勇, 阎秀兰, 等. 污染场地修复决策支持系统的几个关键问题探讨[J]. 环境科学, 2014, 35(04): 1576-1585.
- [6] 蒋栋, 路迈西, 李发生, 等. 决策支持系统在污染场地管理中的应用[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(05): 183-187.
- [7] 张海博, 张林波, 李岱青, 等. 基于 DESYRE 模型的污染场地修复决策研究[J]. 环境工程技术学报, 2012, 2(04): 339-348.
- [8] 蒋栋, 路迈西, 李发生, 等. 决策支持系统在污染场地管理中的应用[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(03): 170-174.
- [9] KHAN F I, HUSAIN T, HEJAZI R. An overview and analysis of site remediation technologies [J]. Journal of Environmental Management, 2004, 71(02): 95-122.
- [10] MULLIGAN C N, YONG R N, GIBBS B F. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation [J]. Engineering Geology, 2001, 60(1/2/3/4): 193-207.
- [11] 廖晓勇. 污染场地修复如何走向科学决策 [N]. 科技日报, 2014-11-16(002).
- [12] SULLIVAN T. Evaluating environmental decision support tools [R]. New York: Brookhaven National Laboratory, 2004: 2-12.
- [13] CRITTO A, AGOSTINI P. Using multiple indices to evaluate scenarios for the remediation of contaminated land: the Porto Marghera (Venice, Italy) contaminated site [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2009, 16(06): 649-662.
- [14] 潘洪来. 制订我国污染场地土壤风险筛选值的几点建议 [J]. 中国资源综合利用, 2018, 36(09): 80-81, 85.
- [15] EPA/540/G-89/004, Guidance for Conducting Remedial Investigations and Feasibility Studies Under Cercla [S].
- [16] BARDOS R P, MARIOTTI C, MAROT F, et al. Framework for decision support used in contaminated land management in Europe and North America [A]. In: NATO/CCMS, Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment of and Clean-up of Contaminated Land and Groundwater (Phase III) (special session; decision support tools No. 245) [C]. Washington DC: United States Environmental Protection Agency, 2001: 9-30.
- [17] CARLON C, GIOVE S, AGOSTINI P, et al. The role of multi-criteria decision analysis in a decision support system for rehabilitation of contaminated sites (the DESYRE software) [A].

- In: Transactions of the 2nd Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society. Complexity and Integrated Resources Management [C]. Manno Switzerland; The International Environmental Modelling and Software Society, 2004:1-6.
- [18] CARLON C, CRITTO A, RAMIERI E, et al. DESYRE: Decision support system for the rehabilitation of contaminated megasites [J]. Integrated Environmental Assessment and Management, 2007, 3(02): 211-222.
- [19] MARCOMINI A, SUTER II G W, CRITTO A. Decision support systems for risk-based management of contaminated sites [M]. US: Springer, 2009: 157-178.
- [20] LI J B, HUANG G H, ZENG G M. An integrated decision support system for the management of petroleum-contaminated sites [J]. Journal of Environmental Science and Health Part a-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, 2001, 36(7): 1163-1186.
- [21] WSRC-IM-2002-00002, Guidebook to decision-making methods [S].
- [22] LINKOV I, VARGHESE A, JAMIL S, et al. Multi-criteria decision analysis: a framework for structuring remedial decisions at contaminated sites [A]. In: Comparative Risk Assessment and Environmental Decision Making [M]. Netherlands: Springer, 2005, 38: 15-54.
- [23] 潘云雨, 宋静, 骆永明. 基于人体健康风险评估的冶炼行业污染场地风险管理与决策流程 [J]. 环境监测管理与技术, 2010, 22(03): 55-61.
- [24] 姜林, 钟茂生, 梁竞, 等. 层次化健康风险评估方法在苯污染场地的应用及效益评估 [J]. 环境科学, 2013, 34(03): 1034-1043.
- [25] 罗程钟, 易爱华, 张增强, 等. POPs 污染场地修复技术筛选研究 [J]. 环境工程学报, 2008, 2(04): 569-573.
- [26] 陶焜, 全向春, 李安婕, 等. 城市工业污染场地修复技术筛选方法探讨 [J]. 环境污染与防治, 2012, 34(08): 69-74.
- [27] 张倩, 蒋栋, 谷庆宝, 等. 基于 AHP 和 TOPSIS 的污染场地修复技术筛选方法研究 [J]. 土壤学报, 2012, 49(06): 1088-1094.
- [28] 污染场地修复中心. 污染场地健康与环境风险评估软件 (HERA) [J]. 中国科学院院刊, 2014, 29(03): 344, 335, 封3.
- [29] 王新秀, 涂晨, 张红振, 等. 污染场地修复决策支持系统的设计与实现 [J]. 环境科学与技术, 2015, 38(11): 252-257.
- [30] 郑洪振, 涂晨, 张红振, 等. 基于 WebGIS 的污染场地修复决策支持系统的研究 [J]. 环境科学与技术, 2016, 39(S2): 455-463.
- [31] 陶欢, 廖晓勇, 阎秀兰, 等. 应用多属性决策分析法筛选污染场地土壤修复技术 [J]. 环境工程学报, 2017, 11(08): 4850-4860.
- [32] 中华人民共和国国务院. 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) [R]. 2016.
- [33] 李发生. 新形势下我国污染场地修复技术决策和产业发展探析 [J]. 环境保护, 2016, 44(20): 12-15.

## Progress of the research on the decision system of contaminated site restoration in China

ZHANG Baohui, WANG Linfang, GUO Hong, HAN Wenhui, DANG Jinhua \*

(Shanxi Research Academy of Environmental Science, Taiyuan 030027, China)

**Abstract:** Since the launch of the Action Plan for Soil Pollution Prevention and Control in 2016, the remediation of contaminated soil was progressing steadily. However, there were great differences in the type, degree and land planning of site pollution. So it is particularly important to select the remediation technology which is scientific, reasonable, efficient, and low-consumption. In this context, the remediation decision supporting system came into being. By inputting all the elements of the remediation process and combining expert judgment, the remediation decision supporting system calculates the best remediation mode, and provides a basis for decision-making for managers. This paper analyzed the development of domestic and foreign remediation decision supporting system, compared its characteristics, advantages and disadvantages. Based on this, the paper found a model suitable for the remediation of contaminated sites in our country and provided references for researchers engaged in this work.

**Keywords:** contaminated site; remediation; decision supporting system