

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. Wang Xinxiu, Tu Chen, Zhang Hongzhen, et al. Decision support system for contaminated site information management and remediation technology selection-design and implementation[J]. Environmental Science & Technology, 2015, 38(11): 252-257.

污染场地修复决策支持系统的设计与实现

王新秀^{1,3}, 涂晨¹, 张红振², 高猛^{1*}

(1.中国科学院烟台海岸带研究所,山东 烟台 264003; 2.环境保护部环境规划院环境风险与损害鉴定评估研究中心,北京 100012; 3.中国科学院大学,北京 100049)

摘要:在城市化进程中由于企业搬迁产生了大量的污染场地,其潜在的环境风险和再利用问题,已成为城镇管理者和公众关注的焦点。污染场地修复是一项复杂的工程实践,包括场地调查、风险评估、场地修复等多个环节。针对污染场地修复过程中场地信息管理和修复技术决策问题,基于最新颁布的污染场地修复技术导则,采用 GIS 组件式开发技术与可视化编程语言 C# 结合 SQL Server 2008 数据库,设计并开发了污染场地信息管理与修复决策支持系统。系统具有污染场地信息综合管理、场地特征分析和修复技术筛选 3 项主要功能,并支持在线专家咨询,辅助完成污染场地修复相关报告。系统为污染场地修复工作者提供方便的管理工具和决策参考,在编制污染场地修复技术方案过程中发挥辅助作用。

关键词:污染场地; GIS; 决策支持系统; 信息管理; 修复技术

中图分类号:X53 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1003-6504.2015.11.046 文章编号:1003-6504(2015)11-0252-06

Decision Support System for Contaminated Site Information Management and Remediation Technology Selection-Design and Implementation

WANG Xinxiu^{1,3}, TU Chen¹, ZHANG Hongzhen², GAO Meng^{1*}

(1.Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2.Centre for Environmental Damage and Risk Assessment, Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China; 3.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: As the relocation of industrial factories, a large number of contaminated sites arise during China's urbanization. The potential environmental risk and reuse of contaminated sites have attracted more and more focus from urban managers and the public. Soil remediation of contaminated site is a complicated process, including survey, motorizing, risk assessment and remediation. A decision support system (DSS) that aims to solve the problem of contaminated site information management and remediation technology selection is needed. Following the new national technical guide of contaminated site soil remediation, a DSS is designed and developed. The system implementation employed C# language and ArcEngine GIS component platform associated with SQL Server-2008, with three main functions included within the system, such as contaminated site information management, site profiling and analysis, and remediation technology selection. Moreover, the system supports online expert consultation and relevant document management. Generally, this system is an effective tool for information management and remediation technology selection that facilitates compiling technical scheme during contaminated site soil remediation.

Key words: contaminated site; geographic information system; decision support system; information management; remediation technology

随着我国经济发展和城镇建设速度的加快,在各种多样、复杂的污染场地^[1]。由于原有土地使用性质发生改变,生产企业搬迁后的场地一般需要进行修复后

《环境科学与技术》编辑部 (网址)http://fjks.chinajournal.net.cn(电话)027-87643502(电子信箱)hjkxyjs@vip.126.com

收稿日期 2015-02-13,修回 2015-03-10

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)项目(2013AA06A211-4),国家自然科学基金(41201313,71403097,31000197)

作者简介:王新秀(1990-),女,硕士,主要研究方向为 GIS 软件开发 (电子信箱)wangxinxiu0925@126.com * 通讯作者,男,副研究员,博士,主要研究领域为环境数据分析与模拟 (电子信箱)mgao@yic.ac.cn。

再利用。若直接再利用未经修复的污染场地,会对人体健康和生态安全产生有害影响。2004 年,原国家环保总局专门下发通知,要求重新利用污染场地之前,必须对污染场地进行调查、评估和修复^[2]。为规范场地调查、场地环境监测、人体健康风险评价与污染场地修复技术方案编制,环境保护部于 2014 年 7 月正式发布了《污染场地环境调查技术规范》(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)^[3-6]。

根据导则,污染场地调查、监测、评估和修复的过程包括调查和管理污染场地的各类信息,并在评估场地风险的基础上筛选修复技术,制定合理的修复方案。污染场地调查的数据类型复杂,数据量大,主要包括地理空间数据、影像数据和各类文档等^[7-9]。然而,目前还没有专业的软件工具可以存储和管理污染场地修复过程中所需要的各类数据,不能为场地管理者与决策者提供有效的帮助和支持。此外,污染场地修复技术种类繁多,根据美国 FRTR 组织提供的污染场地修复技术清单,目前有 64 种场地污染治理方法^[9]。筛选适用的修复技术是污染场地修复过程中十分重要的环节,也是制定修复技术路线和方案的前提条件^[7,10]。本文基于《污染场地土壤修复技术导则》^[5]利用 GIS 和 SQL 数据库技术,研究并开发污染场地信息管理和修复决策支持系统,实现污染场地各类信息管理和场地修复技术筛选两大功能,为污染场地修复技术人员提供一个场地信息查询、管理的平台,也为相关专家提供一种辅助决策的工具,提高污染场地修复过程管理与决策的信息化水平。

1 系统需求

1.1 目的与原则

系统的最基本目的是与新出台的《污染场地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2014)^[5]相配套,方便污染场地修复技术人员更快速地了解场地水文地质环境、更高效地管理场地信息、更有效地筛选修复技术,为编制污染场地修复技术路线和方案提供技术支持。系统设计与开发遵循专业性原则、规范化原则、模块化原则和实用性原则。

1.2 污染场地修复的基本流程

完整的污染场地土壤修复过程可分为场地调查、风险评估、场地修复 3 大部分。首先,场地修复技术人员要按照《污染场地环境调查技术导则》(HJ 25.1-2014)^[3]进行污染场地环境调查,获得各类污染场地条件信息,如场地历史信息、修复要求及经费概算等文

本信息,污染场地遥感图、现场照片、污染场地周边土地利用图等地理空间信息,以及对污染场地设点采样获得的污染物信息。然后,按照《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3-2014)^[4]对污染场地进行风险评估,获得污染场地各污染物的风险控制值和修复目标值。最后,根据《污染场地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2014)^[5]的规定,综合考虑场地条件、修复目标和修复要求,选择合适的修复模式,进而筛选出适用的修复技术,并在可行性研究的基础上编制修复技术路线和方案(图 1)。

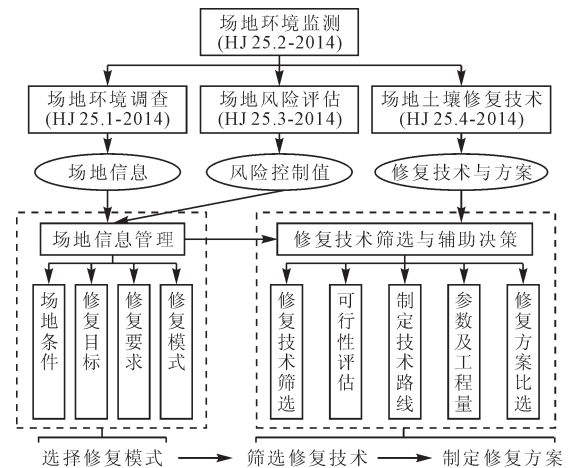


图1 污染场地修复过程

Fig.1 Remediation process of contaminated site soil

2 系统设计

2.1 系统功能设计

系统主要包括两大基本功能:污染场地信息管理和修复辅助决策(图 2)。场地信息管理主要对 3 方面信息,分别为场地信息、采样点信息和文档信息。场地信息包括:(1)文本信息包括场地名称、场地历史用途、场地土壤特征、污染物信息、修复要求等可用文字表达的信息;(2)图像信息包括场地遥感图像、场地地图、污染场地附近道路管线矢量图、污染场地附近土地利用分类图等各类与污染场地有关的图形图像信息。文本信息和图像信息以场地为单位存放在数据库中,图形图像信息可以在 GIS 平台上直观地进行展示。采样点信息是指在场地调查过程中对污染场地进行设点采样获得的污染物数据。这些信息按照不同场地、不同污染物分别存储成为表格,并将表格中的数据转化为点 shp 文件,叠加显示到污染场地遥感影像上。为方便场地修复技术人员了解污染物分布和迁移规律,系统对各类污染物的浓度进行空间插值和可视化,分析污染物的空间分布特征等。文档管理是指管理在场地修复过程中产生的各类文档,包括场地环境调查报告、污染场地修复方案、场地环境监测报

告等报告,还包括实验室小试、中试结果报告等。这些文档以污染场地为单位,在系统中可以对这些报告进行编辑和展示。

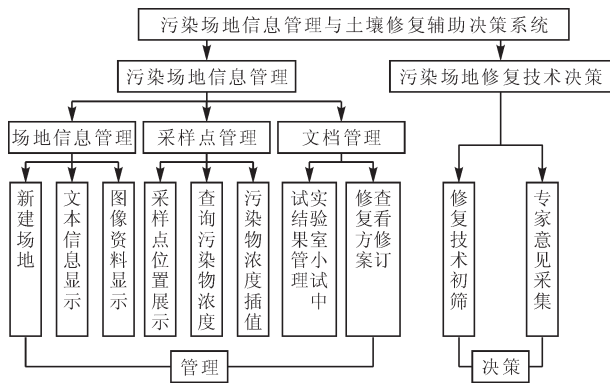


图2 系统总体结构图
Fig.2 Overall structure of the system

污染场地修复辅助决策功能包括:(1)污染场地修复技术初筛,根据美国 FRTR 组织提出的修复技术筛选矩阵 (treatment technologies screening matrix)^[9] 构建了修复技术数据库,针对不同的污染场地条件和修复要求系统自动从场地类型、修复技术类型、修复技术的发展状况、修复技术需要的资金多少、相对成本大小、需要时间长短、修复技术去除污染物的有效

性和对 VOC's、SVOC's、无机物的有效性这 10 个方面对数据库中的修复技术进行筛选;(2)专家咨询打分功能,系统自带专家数据库,根据专家擅长领域、邮件地址等信息,实现了修复技术路线和方案的专家在线评议,以便场地修复技术人员修改和完善修复技术路线和方案。

2.2 系统流程

根据污染场地调查和风险评估报告,确定该场地的主要污染物和修复目标。运行系统执行以下流程:(1)新建场地并对场地命名,将有关场地信息、图像和污染物信息保存到数据库中;(2)管理场地对象,导入采样点文件,对采样点插值等操作;(3)根据场地条件和修复要求,确认修复模式,在修复模式的前提条件下,进行修复技术初筛,排除掉不符合场地条件和修复要求的修复技术,获得备选修复方法;(4)采用专家在线咨询的功能,对备选的修复技术进行权重打分,确定最优修复技术;(5)场地修复技术人员对修复技术进行可行性分析,编制备选修复技术路线和方案,再次进行专家评议,完成修复方案编制,并保存至系统数据库(图 3)。

3 系统实现

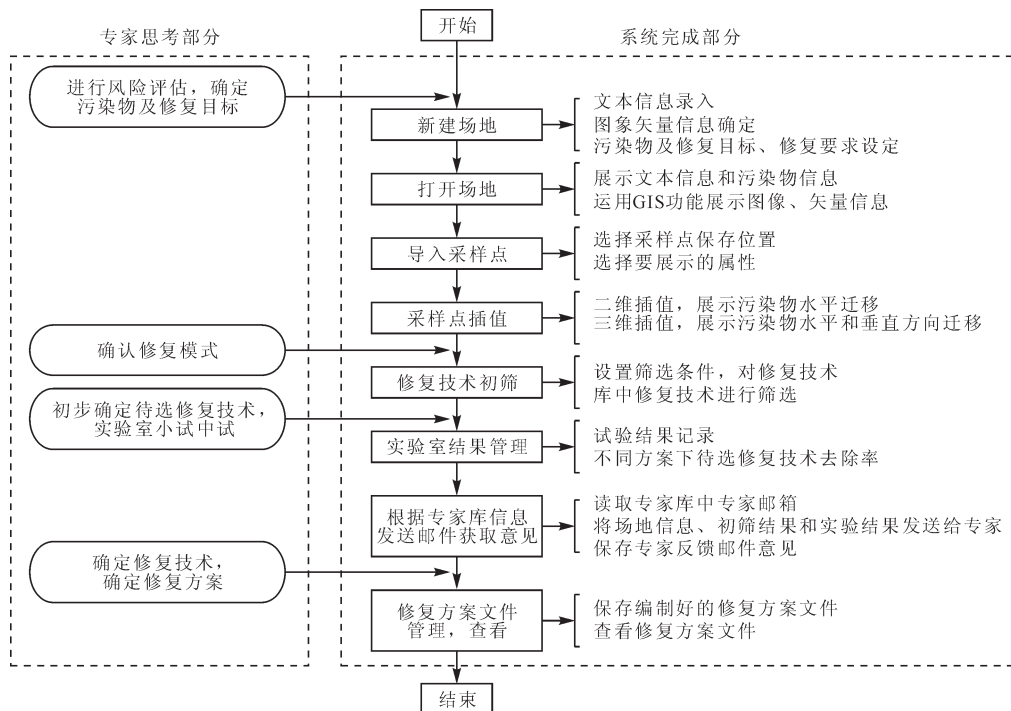


图3 系统运行流程图
Fig.3 The flow chart of system operation process

3.1 系统开发环境

鉴于 ArcEngine 可以灵活创建并定制地图界面,方便为其它软件嵌入 GIS 功能,本研究在污染场地信息管理与修复决策支持系统开发中,选择了基于 Ar-

cGIS Engine 的开发平台,使用可视化语言 C# 采用 SQL Server 2008 作为数据库平台,实现了信息管理功能和决策辅助之间的结合。

3.2 系统主要功能实现

3.2.1 场地信息管理

场地信息管理将污染场地作为一个对象(object)进行管理和存储(图 4),其中新建场地需要录入场地名称、地理位置、历史信息等文本信息,选择污染物名称、修复模式,并依据风险评估的结果设置合理的修复目标值。新建场地还可以录入现场照片和遥感地图,其中与场地空间位置相关的信息以 shp 文件的形式录入,系统根据场地空间位置自动进行叠加。对于不需要的场地,在管理员授权的许可下可以作为一个对象进行整体删除。系统普通用户可以对场地信息查询、查看,但只有管理员用户新建和修改场地信息。以下为加载遥感底图功能的关键代码。

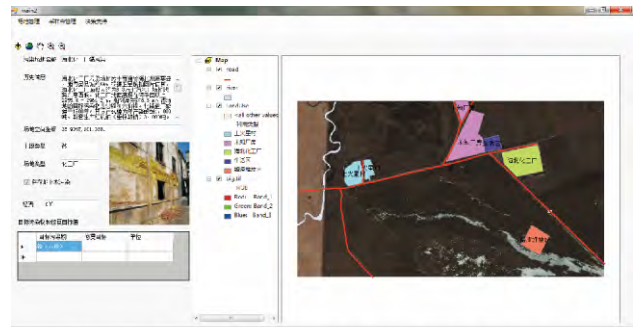


图4 污染场地信息管理(以青海某铬污染场地为例)
Fig.4 Contaminated site information management
(illustration: a chromium contaminated site in Qinghai Province)

部分实现代码：

```
//map 加载底图
axMapControl1.ClearLayers();
//step1:从数据库中读出图像位置和名字
string m_fileName = "";
string m_filePath = "";
string sqlReadRS = "select 遥感影像 from Tb_PlotInfo where 污染场地名称=" + name + ";";
SqlDataReader my_readerRS = _863project.DataClass.MyMeans.getcom(sqlReadRS);
my_readerRS.Read();
string m_fileInfo = my_readerRS[0].ToString();
m_fileName = m_fileInfo.Substring(m_fileInfo.LastIndexOf("\")+1);
m_filePath = m_fileInfo.Substring(0,m_fileInfo.LastIndexOf("\"));

//step2 加载图像
IWorkspaceFactory pWorkspaceFactory = new RasterWorkspaceFactory();
IRasterWorkspace pRasterWorkSpace;
IRasterDataset pRasterDataset = new RasterDatasetClass();
IRasterLayer pRasterLayer = new RasterLayerClass();
string filename = System.IO.Path.GetFileName(m_fileName);
pRasterWorkSpace = (IRasterWorkspace)pWorkspaceFactory.OpenFromFile(m_filePath, 0);
pRasterDataset = (IRasterDataset)pRasterWorkSpace.OpenRasterDataset(filename);
//初始化一个新的 rasterlayer
pRasterLayer.CreateFromDataset(pRasterDataset);
pRasterLayer.Name = filename;
//加载栅格数据
axMapControl1.AddLayer(pRasterLayer, 0);
axMapControl1.Refresh();
```

3.2.2 场地特征分析

场地特征分析功能主要针对场地的采样点数据进行空间分析,从而了解污染物分布的大致范围和迁移扩散方向(图 5)。以污染物空间数据插值为例,在设定插值范围之后,将场地离散化为二维或三维网格,

基于反距离插值算法,实现二维或三维插值,从而直观地展示污染物在水平和垂直方向上的分布规律。基于二维和三维插值结果,在设定好修复目标值的前提下,可以明确修复范围并初步估算修复工程量。

部分实现代码：

```

IRaster pOutRaster;
IRasterLayer pOutRasterlayer = new RasterLayerClass();
IGeoDataset pGeoDataSet;

pGeoDataSet = pInterpolationOp.IDW((IGeoDataset)pFeatClsDes, dPower , pRsRadius, ref
objLineBarrier);
pOutRaster = (IRaster)pGeoDataSet;
//着色
IRasterLayer pRasterLayer = new RasterLayerClass();
pRasterLayer.Name = "反距离栅格";
pRasterLayer = SetRsLayerClassifiedColor(pOutRaster);
ConvertRasterToRsDataset(rasterPath, ref pOutRaster, rasterName );
main2.m_mapControl.AddLayer(pRasterLayer, 0);

```



图5 污染场地采样点与二维插值(以青海某铬污染场地为例)
Fig.5 Map of contaminated site sampling point and image of two-dimensional interpolation
(illustration: a chromium contaminated site in Qinghai Province)

3.2.3 修复技术初选

污染场地土壤修复技术多达几十种,每种修复技术均针对特定的污染物和污染产地^[10]。结合美国环境保护署(EPA)的修复技术筛选矩阵^[9]和污染场地修复技术导则^[5]要求,系统针对 59 种修复技术的发展成熟度、是否能独立应用与污染场地修复、运行维护强度、资本投资程度、系统可靠性、成本大小、修复时间长短、有效性进行评估,并且衡量各修复技术对非卤代 VOCs、卤代 VOCs、非卤代 SVOCs、卤代 SVOCs、化石燃料、无机物 6 大类污染物的处理有效性。针对具体的污染场地,在给定修复模式、修复要求和修复目标的前提下,系统基于筛选矩阵自动将适合目标污染物并满足约束条件的修复技术选出,产生修复技术列表。

3.2.4 修复技术比选

系统初选的修复技术偏重对目标污染物的适用性,而针对技术的评比和量化分级较少,不能有效地对技术在可行性层面进行比选和排序。因此,需要结合污染场地修复专家的经验 and 可行性研究的成果,对初选后得到的修复技术采用权重打分的形式进行二

次比选。修复技术比选的条件包括:技术成熟度、场地适用性、修复效果、修复成本、修复时间长短、环境人体安全性,其中环境人体安全性作为新加入的一个指标,对评估修复技术的可行性至关重要(图 6)。具体比选过程如下:确定各条件的权重值(w_j),权重值为 0~10 的数值,数值越大,表示该条件对决策结果影响越大。然后对第 i 个待决策技术的第 j 个条件打分(f_{ij}),打分为 0~10 的数值,值越大,表示该修复技术在该条件的表现越好。最后根据公式(1)计算每个待决策修复技术的总分值,并依据总分对技术进行排序。

$$T_i = \frac{w_1 \times f_{i,1} + w_2 \times f_{i,2} + \dots + w_6 \times f_{i,6}}{w_1 + w_2 + \dots + w_6} \quad (1)$$

式(1)中 T_i 为第 i 个修复技术总分值, w_j 为第 j 个条件权重值, f_{ij} 为第 i 个修复技术第 j 个条件的打分。

4 结语

基于最新颁布的国家环境保护标准《污染场地土壤修复技术导则》(HJ 25.4-2014)^[5],采用 GIS 组件式开发技术与可视化编程语言 C# 结合 SQL Server 2008 数据库,设计并开发了污染场地信息管理与修复



图6 污染场地修复技术比选及排序结果(以青海某铬污染场地为例)
 Fig.6 The software interface of contaminated site remediation technology selection (illustration: a chromium contaminated site in Qinghai Province)

决策支持系统。系统综合管理污染场地相关的各类文本、数字、地理空间信息,并可以直观地对场地特征(特别是污染物的空间分布特征)进行分析,以及针对目标污染物的技术筛选。系统可以脱离GIS软件进行操作,操作方便,适用于从事污染场地土壤修复的中小用户及地方环境管理部门,在编制污染场地修复技术方案中发挥辅助作用。系统的部分功能还有需要完善的地方,例如在场地特征分析中需要添加更多的插值算法以及空间统计的功能,以便为用户提供更可信的分析结果。

[参考文献]

[1] 骆永明. 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.
 Luo Yongming. Trends in soil environmental pollution and the prevention controlling remediation strategies in China[J]. Environmental Pollution & Control, 2009, 31(12):27-31. (in Chinese)

[2] 国家环保总局. 关于切实做好企业搬迁过程中环境污染防治工作的通知 [2004-06-07] [EB/OL].http://www.zhb.gov.cn/gkml/zj/bgt/200910/t20091022_1738_79.html.

[3] HJ 25.1-2014 场地环境调查技术导则[S].

[4] HJ 25.3-2014 污染场地风险评估技术导则[S].

[5] HJ 25.4-2014 污染场地土壤修复技术导则[S].

[6] HJ 25.2-2014 场地环境监测技术导则[S].

[7] 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(3):170-174.
 Jiang Dong, Lu Maixi, Li Fasheng, et al. Review on current application of decision support systems for contaminated site management[J]. Environmental Science & Technology, 2011, 34(3): 170-174. (in Chinese)

[8] Critto A, Cantarella L, Carlon C, et al. Decision support-oriented selection of remediation technologies to rehabilitate contaminated sites[J]. Integrated Environmental Assessment and Management, 2006, 2(3): 273-285.

[9] US Environmental Protection Agency(USEPA 2004). Remediation Technologies Screening Matrix(by FRTR 2002)[R].

[10] 杨勇,何艳明,栾景丽,等. 国际污染场地土壤修复技术综合分析[J].环境科学与技术, 2012(10): 92-98.
 Yang Yong, He Yanming, Luan Jingli, et al. Comprehensive analysis on soil remediation technologies of worldwide contaminated sites[J].Environmental Science & Technology,2012 (10): 92-98. (in Chinese)