

北京市土壤污染预警系统的设计与开发

严加永 吕庆田 赵金花

中国地质科学院矿产资源研究所 北京 100037

摘 要 针对日益严重的土壤污染问题,必须采用快速高效的方法对污染进行现状分析和预测警报。GIS 技术正是解决问题的好办法。依据 ESRI 公司地理信息系统软件 ArcView GIS 的原理和方法,以北京市地球化学和重金属元素分布数据为基础,设计开发了北京市土壤污染预警系统。对其结构和功能做了详细介绍,对数据库的建立、界面的设计以及和其他应用程序的结合等技术方法进行了分析和探索。该系统具备数据管理、查询、分析预测、制图制表等功能,界面友好、形象、方便、易于操作和维护。系统的建立为北京市土地使用、防治土壤污染提供高效、科学的信息支持,从而提高土壤污染治理和决策水平。

关键词 GIS 土壤污染 预警系统

The Design and Development of the Early Warning System for Soil Pollution in Beijing

YAN Jiayong LU Qingtian ZHAO Jinhua

Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037

Abstract In view of the increasingly serious problem of soil pollution, it is necessary to develop a rapid and efficient method for analyzing the pollution situation and forecasting future pollution, and GIS is just a good means to solve this problem. According to the method and principle of ArcView GIS produced by ESRI Company, the authors designed and developed the Beijing Soil Pollution Early Warning System based on geochemical data and heavy metal data. This paper describes the function and structure of the system, and discusses the construction of the database, the designing of GUI (Graphic User Interface) and the combination with other application softwares. This system provides such functions as data management and query, spatial analysis, forecast and mapping. Its GUI is friendly and is easy to use and maintain. The construction of this system will provide effective information support for pollution prevention of Beijing and improve soil pollution management and decision-making. As Beijing is a typical area, the successful development and application of Beijing Soil Pollution Early Warning System will serve as a good example of soil pollution prevention and control for other areas of China.

Key words GIS soil pollution early warning system

长期以来,公众对污染的了解多限于大气污染与水污染。土壤作为一种资源,尽管量大面广,但由于其中的有害物质释放缓慢和影响滞后,土壤污染问题并不像大气污染和水污染问题那样引人注目(黄昌勇,1998)。在大气污染和水污染治理取得成效以后,土壤污染问题的严重性和紧迫性日益暴露出来。近年来,土壤污染问题在国际上越来越受到关注,并成为环境保护研究的热点。美国、加拿大、

西欧和俄罗斯等国家纷纷以环境污染和健康为主题,试图通过对土壤污染状况的研究,探讨污染物的迁移、吸收和释放机制,揭示其与人体健康的内在联系,从而制定环境监控与治理的优化方案(赵其国,1992)。

近年来,随着城市规模的扩大、人口的增长和经济的飞速发展,由土壤污染造成的环境危害已经达到惊人的程度。已有资料表明,北京地区的土壤污

染已经造成 120 万亩^①耕地中的重金属(铅、铬、汞等)含量明显增加。1998 年的资料显示,北京市四大蔬菜市场上土豆、大白菜、洋白菜等 10 种蔬菜重金属含量明显超标。北京市居民每天从蔬菜中摄取的神为世界卫生组织所规定的日摄取量的 120%。因此,非常有必要依托高新测试手段,结合野外实地调查与室内试验模拟研究,全面分析北京地区土壤中污染物种类、来源和分布,系统研究北京地区土壤中污染物的时-空演化规律与累计效应,查明土壤环境中主要污染组分的类型,分布范围及污染程度。继而分析土壤污染现状及潜在的发展趋势,提出相应的安全预警系统。在 GIS 平台上实现土壤污染的现状、发展趋势预测的模拟显示,建立土壤污染预警系统具有重要的社会现实意义和推广意义。

1 系统总体构架

1.1 系统开发平台选择

1.1.1 软件平台 地理信息系统(简称 GIS)作为对地球空间数据进行采集、存储、检索、建模、分析和表示的计算机系统,不仅可以管理以数字、文字为主的属性信息,而且可以管理以图形图像为主的空间信息(陈达彭,2000)。该系统通过各种空间分析方法对各种不同的空间信息进行综合分析解释,确认空间实体之间的相互关系,分析在一定区域内发生的各种现象和过程。GIS 以数据表示空间分类,数字和图形融为一体,支持数字思维与空间思维同时进行,比传统的地图分析和仅仅基于表格数据的分析方法有了质的变化(李洪宁,2002)。

ArcView 是美国环境系统研究所(ESRI)所推出的基于窗口的集成 GIS 系统,该软件面向对象提供强大的图形用户界面功能,是一套辅助用户组织、维护、直观再现、分析和传播地图与空间信息的传输工具,可为用户进行空间决策提供服务。它的可扩展的软件结构为 GIS 应用提供了一个具有伸缩性的软件平台。这一新的软件结构也使得 ArcView 队伍可以开发出一系列“插件”式的模块(如 SPATIAL ANALYST、3D ANALYST、IMAGE ANALYST 等)利用这些模块进行组合可以显著地扩展 ArcView 的功能,从而使桌面 GIS 发展到一个全新的水平。

基于上述特点,北京市土壤污染预警系统的建立方法和实现过程,选用 Arc View 3.2 为开发平台,利用其二次开发语言 Avenue 进行系统的开发。其他协作系统采用 MapGIS、Mapinfo、Coreldraw、Surfer 等 GIS 或制图软件。操作系统可采用 Windows2000/Me/XP 等。

1.1.2 硬件平台 系统硬件要求:奔 III 以上主机,64 M 以上内存、ArcView 加速卡,外围设备包括扫描仪、绘图仪、打印机等。

1.2 系统的目标

建立北京市土壤污染预警系统,对北京市土壤质量和各种污染因素进行详细分析和评价,完成土壤污染监测数据的更新、查询、统计分析和制图制表等工作。通过该系统建立准确、一致的信息来源,揭示北京地区土壤中主要污染物质的分布特征、污染来源及时空演化规律,提高土壤环境资源的利用率,实现北京市土壤质量监测数据管理的科学化。

1.3 系统结构

土壤污染预警系统的结构如图 1,除了系统管理、人机界面外,主要有土壤预警信息库维护、空间分析和输出子系统。针对不同的用户,进入不同的操作方式,对预警分析操作,界面设计成面向任务的图形方式,使用户只需按很少的几个键,即可完成,又可称之为“智能式”操作方式,完全可以由从事预警分析的人员直接使用;而数据管理员需对各种数据进行复杂操作处理。

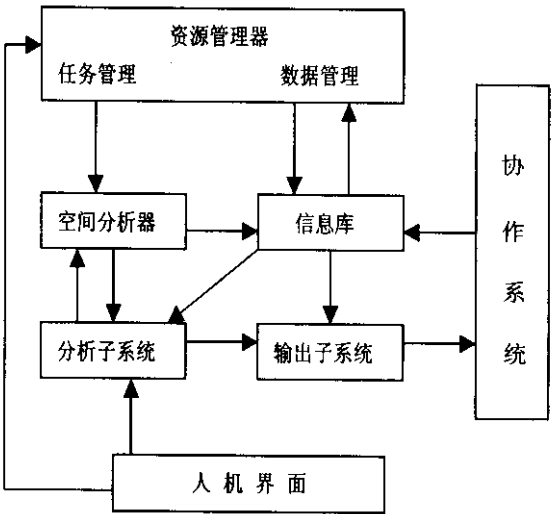


图 1 系统结构图
Fig.1 The frame of system

① 1 亩 = 666.6 m² 万方数据

1.4 系统功能

系统主要由 5 个功能模块组成 ,功能模块通过 Arc View 3.2 平台访问数据库实现功能 ,功能结构如图 2 所示。

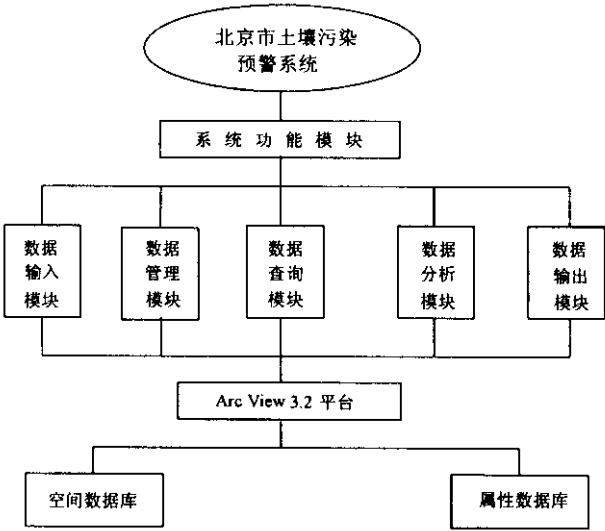


图 2 系统功能结构图
Fig.2 The frame of system function

1.4.1 数据输入模块 该模块具有空间和属性数据的输入功能 ,可通过数据转换的方式输入不同格式的数据文件 ,使得系统能接受多源数据。

1.4.2 数据管理模块 该模块具有数据的管理功能 ,包括各种空间和属性数据文件的维护、数据库备份和更新 ,以及分析预测模型参数的修改和构建新的模型。

1.4.3 数据查询模块 该模块具有从空间到属性 ,从属性到空间等数据的查询功能 ,同时也能在不同数据层之间进行综合查询 ,支持图形与属性的联动显示。

1.4.4 数据分析模块 该模块具有对用户指定区域进行各种分析统计预测的功能。用户只要指定要分析预测的工作区域和预测模型 ,系统就会在模型的引导下 ,自行检索系统的空间数据库所需的数据资料进行推理 ,并将预测结论和分析结果以色块图方式或图表形式显示出来。

1.4.5 数据输出模块 该模块具有按实际需要输出各种数据文件、专题地图和统计图表(如饼图、柱状图等)功能。

1.5 工作流程

针对不同的使用者 ,工作流程也不尽相同。该系统把使用者划分为数据管理员和预警分析员。

1.5.1 数据管理员 此类人员对各功能模块进行管理 ,包括系统数据库的建设、备份、维护和更新。数据管理员应精通 ArcView 3.2 和其他应用软件 ,对数据库和分析预测模型进行更新和维护。数据管理员的工作比较复杂 ,没有固定的工作流程 ,其工作主要是为预警分析员服务。

1.5.2 预警分析员 该类人员是系统的最终用户 ,一般不是专门的 GIS 从业者 ,他负责对数据进行查询、分析和决策。预警分析员只需掌握初步的 ArcView 3.2 使用方法 ,就能进行数据查询模块、数据分析模块、数据输出模块的操作。并只需指定要分析预测的工作区域和预测模型 ,系统就会在模型的引导下 ,自行检索系统的空间数据库所需的数据资料进行统计分析、推理预测 ,并将预测结论和分析结果以色块图方式显示出来 ,色块的深浅表示某些污染指标的高低 ,结果一目了然。最终按具体需要在数据输出模块下进行数据输出 ,数据输出形式灵活多样 ,可以输出专题地图、数据文件和统计图表等 ,从而完成土壤污染的现状评价和预测分析。

2 系统的实现

2.1 系统分析预测模型的构建

借助于一定的数学方法和公式 ,以专题图层(格式)或监测数据作为边界条件和初始条件 ,模拟某些环境现象或环境的演变过程 ,以图示显示模拟结果。实现 GIS 与环境监测数据的有效集成 ,这个过程就是系统模型构建。模型是环境空间信息系统走向实用化的关键技术 ,大量的环境信息的分析、处理和空间定量显示主要是通过建立相应模拟、预测、规划和决策模型来实现的。因此 ,依据由国家环境保护局科技标准司提出的土壤环境质量标准《GB 15618 - 1995》(中国标准出版社第二编辑室 2003)构建了相应的土壤污染预测评价预警模型。

土壤环境系统是一个受众多因素影响的开放系统 ,因而 ,土壤环境污染是由多因子引起的 ,但由于每个因子影响的程度各不相同 ,致使土壤的综合环境质量不易明显判定 ,表现出模糊性(刘桂建 ,2000)。常见的分析方法有 T 值分级法、综合指数法、模糊数学综合评判法及灰色聚类法等 ,这些方法或多或少都不太全面。本系统采用改性灰色聚类法进行建模 ,改性灰色聚类法同一般灰色聚类法在确定灰色白化系数 $f_{ij}(x)$ 求标定聚类权 η_{ij} 求聚类系

数等步骤基本相同(邓聚龙,1985;谢贤平,1996),但在确定聚类对象所属级别上有所不同,一般灰色聚类法是根据聚类对象对各个灰类的聚类系数构成的向量矩阵中的行向量中,聚类系数最大者所属的级别作为该聚类对象所属的级别,即“最大原则”法,而改性灰色聚类法则是根据“大于其上一级别之和”的分类原则进行判定,即按下式进行判定:

若某一行向量中聚类系数 σ_{kj}^* 满足:

$$\sigma_{kj}^* \geq \sum_{m=j+1}^h \sigma_{km}$$

式中 σ_{kj}^* 为聚类对象 k 对灰类(j^*)的聚类系数(j^* 从 1 开始到 h),则聚类对象所属级别为 j^* 。

根据标准,把土壤分为 5 个等级:清洁(I)、尚清洁(II)、轻污染(III)、中污染(IV)和重污染(V)。利用模型,经过一系列的计算求出 σ_{kj}^* 值, σ_{kj}^* 落在 I—V 的哪个区间上,土壤污染就属于哪个级别,这样就完成了土壤污染综合评价模型的构建。

对于单一的污染因素建立了相应的单要素分析模型,采用现有的分级标准进行模型的程序化设计,对具体的某一元素进行分析和预测。用户可以根据不同的指标修改模型的参数进行快速的分析。

2.2 系统数据库的建立

数据库是一个地理信息系统的最基本且最重要的组成部分,是地理信息系统发挥作用的关键(龚健雅,2000)。数据库设计的成败,直接影响到地理信息系统开发与应用水平及成效。GIS 数据库的建立包括图形矢量数据库和其他非图形数据库的建立。图形矢量数据库,即通常所说的空间数据库,主要表示空间实体的位置大小以及相互之间的拓扑关系。其他非图形数据库也就是属性数据库,用来表征实体所代表的具体属性,如土壤类型、重金属元素含量等。

2.2.1 空间数据库的建立 系统空间数据包括北京市土壤类型分布图、北京市地质图、北京市行政区划图、北京重金属(Hg、Cr、Cd、Pb 等)元素分布图和地球化学图等多源数据。

在 Arc View 平台下,空间数据库的建立有 3 种方法:①用数字化仪进行矢量化,直接生成 *.shp 文件格式;②将 CAD 格式文件 DXF 导入到 Arc View 中。由于这两种方法效果都不是很理想。在实际过程中采用方法三:③先把各图件的底图用扫描仪转化为光栅图象,然后将其导入国产地理信息系统软件 MapGIS 中,用该软件提供的矢量化工具

进行交互式矢量化,经过拓补重建后,输入相关空间特征数据信息,用 MapGIS 中的文件转换工具,将其转换为 e00 格式,再在 Arc/INFO 软件中把 e00 格式文件转换为 ArcView 标准格式 shape 文件格式,从而在 ArcView 中可以直接使用该文件,即建立空间数据库。

2.2.2 属性数据库的建立 按系统需要,设计了多张相关联的表,如重金属元素含量分布表、土壤成分表等。属性数据库在 VisualFoxpro 6.0 中完成。

2.3 系统界面的设计和开发

软件的界面是展现系统功能的舞台,界面设计的好坏,影响到用户对系统的应用态度,从而影响到系统功能的发挥。在不同子系统的开发过程中,界面设计的原则是:友好、简洁、易操作和较好的容错性。

2.3.1 登录和启动界面的设计 在 ArcView 中,二次开发以项目(project)的方式保存,每次启动自己所开发的项目时,必须要先打开 ArcView,然后再选择自己的项目。这样,使得系统的启动不直观。因此,本系统用 VisualBasic 6.0 定制了用户登录界面,采用动态连接(DLL)技术,从后台启动 ArcView,用户只需从桌面上单击图标,一步就可以登录到系统的主界面上。不同的用户进入不同的界面,同时,在登录界面时,设置了身份验证功能,不同的分析员根据自己的拟定模型,进行土壤污染预警分析。阻止非法用户的进入,提高了系统的安全性(图 3)。

2.3.2 用户界面(GUI)设计 图 4 为北京市土壤污染预警系统操作的主界面,根据用户的具体需要,用户可以通过选择菜单和单击按钮进行分析和预测。



图 3 系统登录界面
Fig. 3 Entry interface of the system

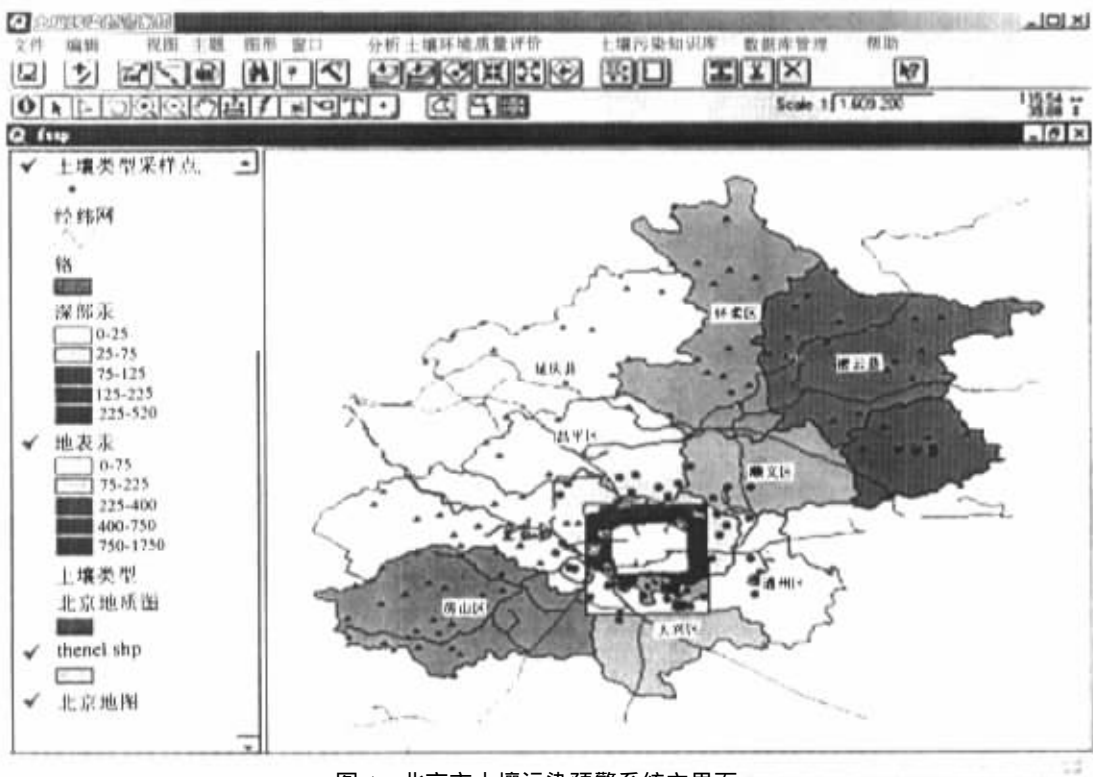


图 4 北京市土壤污染预警系统主界面

Fig.4 Main interface of being soil pollution forecast system

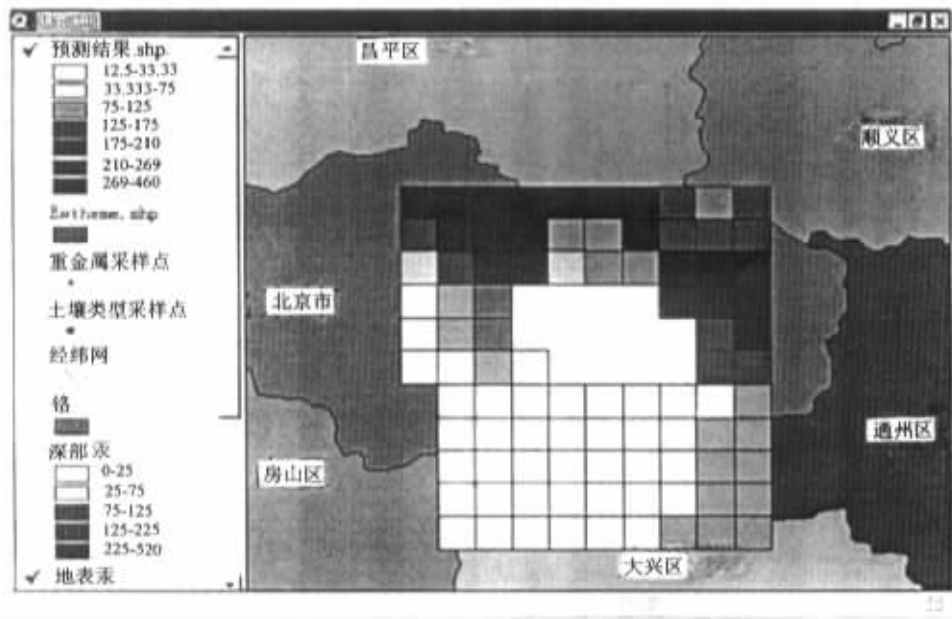


图 5 分析结果示意图

Fig.5 Sketch map of analysed result

用户可用划定工作区工具来界定所要分析的区域,然后用加载工作区工具把选择好的区域添加

到工作区中,这样就可以利用网格分析工具划分适当的规则网格单元,然后选择菜单中的“分析”选项,

按提示进行操作选择不同的模型,系统就会自动计算分析并把结果以色块图的模式显示在屏幕上,不同的颜色表征不同程度的污染。根据要求可将分析预测结果打印或者输出为图片文件。图 5 是一个分析预测结果示意图。

为了辅助决策,还在系统中添加了土壤污染知识库,把与土壤污染相关的法规、知识加入到系统库中,用户可根据需要进行选择。土壤污染知识库中既有文字资料也有图片资料,图、文并茂的方式突出了土壤污染的危害和防治措施,使得界面更加直观、明了。

3 结 语

基于 ArcView 建立的北京市土壤污染预警系统,能够对北京市土壤污染的现状进行分析,并对其潜在的发展趋势进行预测。同时实现土壤污染的现状显示、发展趋势的网上查询与信息发布工作。本系统的建成,不但对北京市土壤污染防治提供了科学的辅助决策,而且作为典型地区,北京市土壤污染预警系统的成功建立,将对我国其他地区土壤污染防治工作起到促进和示范的作用。

参 考 文 献

陈述彭. 2000. 地理信息系统导论. 北京: 科学出版社.
邓聚龙. 1985. 灰色系统. 北京: 国防工业出版社.
龚健雅. 2000. 地理信息系统基础. 北京: 科学出版社.
黄昌勇. 1998. 土壤学. 北京: 中国农业出版社.
李洪宁. 2002. WebGIS 研究及其在城市环境中的应用. 地球学报 23 (2):189~202

刘桂建, 杨萍月, 王桂梁. 2000. 煤中微量元素在土壤环境中的迁移. 地球学报 21(4):423~427.
谢贤平, 赵玉. 1996. 用改进灰色聚类法综合评价土壤重金属污染. 矿冶 3(3):101~104.
赵其国. 1992. 九十年代的土壤科学. 土壤通报 23(1):4~8.
中国标准出版社第二编辑室. 2003. 中国环境保护标准汇编——环境质量与污染物排放. 北京: 中国标准出版社.

References

Chen Shupeng. 2000. Guide of geographic information system. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).
Den Julong. 2000. Grey system. Beijing: National Defence Industry Press Industry (in Chinese with English abstract).
Gong Jianya. 2000. Bases of geographic information system. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).
ESRI INC. 1997. Using Avenue. USA: Environmental Systems Research Institute.
Huang Changyong. 1998. Agrology. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese with English abstract).
Li Hongning. 2002. Researches on WEBGIS and its application to urban environment. Acta Geoscientia Sinica 23(2):189~202 (in Chinese with English abstract).
Liu Guijian, Yang Pingyue, Wang Guiliang. 2000. The migration of trace and minor element of coal in soil environment. Acta Geoscientia Sinica 21(4):423~427 (in Chinese with English abstract).
No 2 Edit Room of Standards Press of China. 2003. Compilation of China environment protection standard-environment quality and contamination let. Beijing: Standards Press of China (in Chinese with English abstract).
Xie Xianping, Zhao Yu. 1996. Use gray clustering theory evaluate heavy metal pollution in soil. Mine and Smelt 3(3):101~104 (in Chinese with English abstract).
Zhao Qiguo. 1992. Ninety's soil science. Bulletin of Soil 23(1):4~8 (in Chinese).