

# 面向应用的土壤重金属信息系统 (SHMIS) ——以北京市为例

陈 煌, 郑袁明, 陈同斌\*

(中国科学院地理科学与资源研究所环境修复室, 北京 100101)

**摘要:** 在大规模的土壤取样调查和分析基础上, 以北京市为例, 建立了土壤重金属信息系统 (SHMIS)。该信息系统由土壤重金属数据库 (SHMD) 及其数据库管理系统 (SHM-MIS) 两大部分组成。该信息系统的资料覆盖北京市 18 个区县, 共 800 组土壤重金属和近 400 组蔬菜重金属等相关信息。土壤重金属数据库由 6 个表相互关联而组成, 其中采样区的基本地理属性、样品重金属含量、样点与周围地物空间关系、农作物组成等不同的分类信息分别列在不同的表中。用户通过 SHM-MIS 可对数据进行查询、分类和统计, 获得需要的数据。该信息系统的建立既使得采样工作能够与空间分析相结合, 对重金属含量变异趋势大的区域进行加密布点, 提高每个样点的信息量; 数据库同时存储土壤及其所产蔬菜等农作物的重金属含量, 为蔬菜重金属污染风险分析、区域土壤环境质量评价等研究、决策管理提供一个数据平台。

**关键词:** 土壤; 重金属; 数据库; SIS; 北京市

**中图分类号:** P208; S153.6<sup>+</sup>1 **文章编号:** 1000-0585(2003)03-0272-09

## 1 引言

土壤是一个重要的环境介质, 接纳了环境中大约 90% 来自各方面的污染物。土壤重金属污染具有污染物的多源性、隐蔽性、一定程度上的长距离传输性和污染后果的严重性等特点<sup>[1]</sup>。土壤重金属污染不仅表现在农业土壤方面对作物危害和重金属在作物中的累积, 而且城市土壤的重金属污染情况也已引起人们关注。研究发现, 香港市区公路周围的尘土中镉含量超过标准 5 倍多, 而镉是重要的致癌物质之一<sup>[2]</sup>。除交通因素外, 长期的人类活动对城市公园土壤也产生了重要影响。最新的研究表明北京部分公园的土壤已经受到明显的铅污染, 建园历史长而且靠近市中心的各大公园铅污染问题更加突出<sup>[3]</sup>。

土壤重金属污染可以出现在各种土地类型中, 直接或间接地对人类健康构成威胁。研究表明, 城市土壤中重金属含量变化是跟踪研究环境污染十分有用的指标<sup>[4,5]</sup>。因此, 对于土壤重金属含量在时间上进行长期监控, 多时段数据比较; 在空间上进行大范围覆盖研究和空间变异分析, 可以有效地为土壤质量控制和环境监控提供依据。当前, 比较好的手段是采用土壤信息系统 (Soil Information System, SIS) 方法来进行土壤重金属数据的存

收稿日期: 2002-12-15; 修订日期: 2003-02-24

基金项目: 北京市自然科学基金重大项目 (6990002); 中国科学院知识创新工程重点项目 (KZCX2-04-01); 中国科学院地理科学与资源研究所知识创新工程领域前沿项目 (CX10G-C00-04)

作者简介: 陈煌 (1978-) 江西永丰人, 研究生。主要从事区域土壤污染评价的理论与方法研究。E-mail: chentb@igsrr.ac.cn

\* 通讯作者: 陈同斌, 研究员, 博士生导师。E-mail: chentb@jgsrr.ac.cn

储和管理, 即建立土壤重金属信息系统 (Soil Heavy Metal Information System, SHMIS)。SIS 能够较好地表征土壤重金属的属性, 可以综合处理和分析土壤属性和空间内涵的地理数据<sup>[6]</sup>, 是系统地储存、管理、分析土壤信息和与土壤形成、特性相关的背景信息的计算机化工具, 为用户提供准确、及时的土壤信息和相关信息。

SIS 的发展始于上个世纪 80 年代。1989 年, 联合国粮农组织 (FAO) 和国际土壤参比与信息中心 (ISRIC) 共同建立了《世界土壤资源数据库》(SDB)<sup>[7]</sup>, 用于有效地存储和管理庞大的土壤剖面数据。1995 年, 该数据库被发展为多语言系统 (SDBm), 更易于与 GIS 连接进行各种运算和分析<sup>[8]</sup>。

1986 年 1 月, 在荷兰举行的国际数字化土壤资源图和数据库研讨会上首次提出建立全球性的 1:100 万的 SOTER (世界土壤—土地数字化数据库) 的思想。SOTER 的基本目标是提高为决策者提供精确、及时和有效的土壤与土地资源信息的能力, 并将这些数据与全球地理信息系统中的其它数据 (地形、植被、坡度、水文、土地利用、气候、人口等) 相叠加和连接。其长远目标是建立一个包含数字化制图单元界限及其属性的世界土壤和土地数字化数据库<sup>[8]</sup>。在 SOTER 中, 空间数据由 GIS 管理, 属性数据由关系型数据库存储和处理。属性数据库包含了尽可能多的土壤和土地属性, 共 101 个字段<sup>[9]</sup>。

目前, 世界各国都致力于土壤信息系统的建立。很多发达国家都建立起了自己的土壤信息系统 (表 1), 发展中国家则相对落后一些。加拿大较早建立了 CANSIS。美国的国家土壤信息系统 (NASIS) 也接近完成。此前, 美国农业部 (USDA) 的土壤保护司 (SCS) 已建成

表 1 全球和有关国家土壤信息系统的主要特点<sup>[10]</sup>

Tab. 1 Main features of soil information systems of global globe and some countries

数据库名称	空间数据内容与比例尺	属性数据内容与格式结构	属性数据
SOTER (全球和国家级)	土壤—地体单元, 1:500 万~1:10 万	地体属性, 土壤属性, RDBMS	地体—地体组分—土壤— 土壤组分—土层数据
FAO (世界)	FAO 土壤图例单元, 1:500 万	土壤类型, 土相, RDBMS	土壤类型—代表土壤个体文 件
NASIS (美国)	无	土壤特征记录 (SCR), 分类单元记录 (TUR), INFORMIX	土壤组分—土层数据—土壤 解译数据
NATSGO/STASGO/ SSURGO	不同级别的分类单元, 1:500 万~1:12000	图斑属性, RDBMS	图斑属性
CANSIS (加拿大)	土壤景观单元 土壤图单元, 1:500 万~1:20000	土壤景观属性, 土壤属性, RDBMS	土地分区—土壤景观— 土壤单元—土层数据

3 个数据库并投入使用: 土壤普查地理数据库 (SSUTGO)、美国州际土壤地理数据库 (STATSGO) 和全国土壤地理数据库 (NATSGO)<sup>[11]</sup>。NASIS 是美国建立的一个全新的、综合性的国家土壤信息系统。在这个系统中, 不仅集中了单个监测点的数据, 而且着重描述土壤性质的空间变异性。

到目前为止, 我国还没有正式建立全国性的土壤信息系统。但 10 多年来, 我国在土壤数据源和技术上都取得了明显的进步。其中, 我国在七五期间开展了全国性的土壤环境背景值研究, 并建立了相应的土壤元素背景环境信息库。其元素种类和数据量等方面都较大规模, 涉及 29 个省、直辖市和自治区的 4000 余个典型土壤剖面 and 13 种微量元素, 在

800 余个主剖面上加测了 48 个元素的数据<sup>[12]</sup>。此外,一些地区也建立了区域性的土壤信息数据库。1991 年,中科院沈阳应用生态研究所进行了区域土壤信息系统(RSIS)的建立和应用研究。1992 年,中科院南京土壤研究所基本完成了 1:50 万海南省 SOTER 数据库及制图工作,以及后来的我国典型地区(东北、华北、西北、西南、东南)1:50 万和 1:20 万的土壤-地体数字化数据库等工作<sup>[13~16]</sup>。这些工作为全国性的土壤信息系统提供了技术和数据准备。但相比之下,我国的土壤信息系统建设仍有很多工作要做。

现阶段我国建立的各种与土壤信息系统相关的数据库一般是特定研究专题的成果,所包含的相关土壤数据也主要是为一定的研究目标服务,比如土壤环境背景值研究<sup>[12]</sup>、土壤环境容量研究<sup>[17]</sup>等。这都可以为我国建立全面的土壤信息系统提供重要信息来源。在土壤重金属污染现状研究方面,不少地区进行了土壤重金属污染现状调查和研究,并与非污染区土壤进行了比较,但是并没有建立系统的土壤重金属含量数据库。随着对土壤重金属污染的研究积累,数理统计、地学统计方法及 GIS 技术已经广泛地应用于进一步的研究工作中<sup>[18]</sup>。这些技术方法的应用对数据的管理提出了更高的要求。我们以北京市为例,以土壤利用现状为出发点,建立了覆盖北京各种土地利用类型(农业用地,城市用地等)的土壤重金属信息系统,为调查和研究北京市各类土壤中重金属含量、变化和决策、管理等提供重要手段。

## 2 数据的采集与信息系统的建立

考虑到北京市农业用地的分布比较分散,土壤质量品质容易受交通和居民点的影响。采用按区域分布,根据重金属空间变异性进行非均匀布点的方式采样,覆盖北京市 18 个区县,采取了近 800 个土壤样品和 400 个蔬菜样品,涵盖现有的各种土壤类型。测定了这些样品中镉(Cd)、铜(Cu)、锌(Zn)、镍(Ni)、铅(Pb)、铬(Cr)、砷(As)等 7 种重金属元素的含量。

土壤重金属信息系统(SHMIS)由土壤重金属数据库(Soil Heavy Metal Database, SHMD)和土壤重金属数据库管理系统(Soil Heavy Metal Management Information System, SHM-MIS)两部分组成。在建立土壤重金属数据库时,当前可用的数据库形式主要有关系型数据库(RDBMS),面向对象型数据库(OODBMS),关系对象型数据库(RODBMS)。纯关系模型比较适合于不太复杂的空间信息,关系对象模型更适合于空间信息比较复杂的情况<sup>[19]</sup>。由于重金属数据库是一个针对性比较强的专题数据库,所包含的空间信息以点为主,包含少量拓扑关系,所以采用 access2000 建立典型关系型数据库。这类数据库的数据管理简洁,易于与其他工具结合进行进一步的开发(如:ARC/INFO 采用的数据库),或整合到更高级的数据库系统中。

SHMD 既存储相关土壤基本信息、地理信息和重金属含量信息,同时也为分析和扩展服务,包含基本的土壤使用信息和一定的拓扑关系。

该数据库从实验和应用的角度出发,将主要数据项纳入到 4 张表中,将附属数据项放在另外 2 张表中(图 1)。在数据库中,把共性最多的一类数据放在同一张表中,有利于减少数据冗余,提高检索效率。同时,各表通过关键字“样点编号”进行关联和数据惟一性对应,保持数据库的完整性。例如:样区种植各农作物比例信息,放在“样点种植类型比例表”一张表中,相当于预先做了一次归类,使数据调用、统计和比较更加方便。在样

品重金属含量表中，通过控制“采样类型”可以把不同类型样品（如土壤样品和蔬菜样品）的重金属含量放在一张表中，结构简洁，数据容量大。

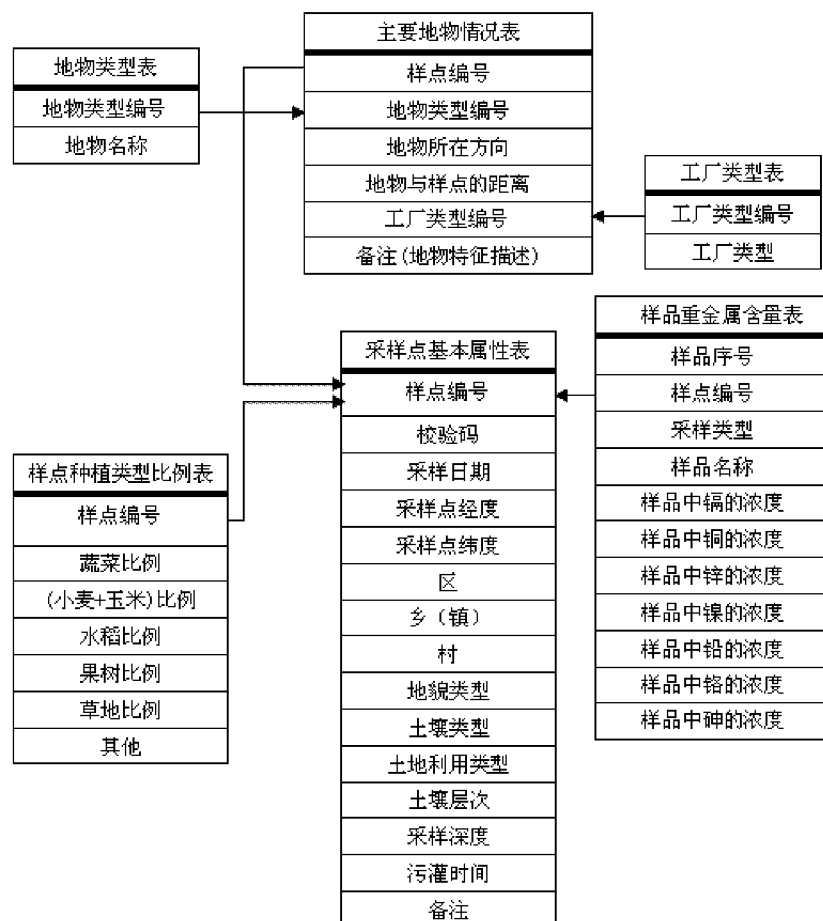


图 1 土壤重金属数据库 (SHMD) 表结构示意图

Fig. 1 The relationship of tables in SHMD

表征空间拓扑关系的信息放在“主要地物情况表”中。主要为相离和相邻关系，如采样点距离最近的公路的距离和公路所在的位置等。可以为研究人类活动对土壤重金属含量的变化影响提供数据平台。

通过建立查询，可以从一个或多个表中获得所需要的数据信息，存入动态数据集供查阅、修改，也可以对各表中的数据进行信息统计。例如：可以把所有 6 张表中的原始数据放到一个视图里显示出来。可以在 access 里通过向导新建查询，也可以在 access 中使用 SQL 语言进行复杂查询，例如：(select \* from 采样点基本属性表, 主要地物情况表 where 采样点基本属性表. 样点编号 = 主要地物情况表. 样点编号)。

为了更好地满足用户对该数据库的使用要求，我们通过开发工具建立了土壤重金属数据库的数据库管理系统。SHM-MIS 提供数据录入、数据查询、数据导出和打印等功能。该系统主要结构如图 2 所示。

通过编程，SHM-MIS 把 SQL 查询语句封装起来，用户通过限定查询条件和范围可得到相应的数据，而且权限不同的用户所管理的数据字段范围不一样(图 3)。数据库管理员可以管理修改数据，管理数据的存储方式和字段编码。普通用户则只能获取和管理数据库中的专业数据，无权对数据库中的数据进行维护。

用户既可以进行简单的分类查询，例如：查询“昌平区”的所有采样点信息和重金属含量(图 4)；也可以进行复杂的复合查询，例

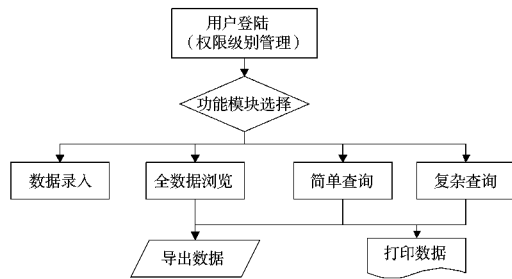


图 2 土壤重金属数据库管理系统结构  
Fig.2 The structure of SHM-MIS

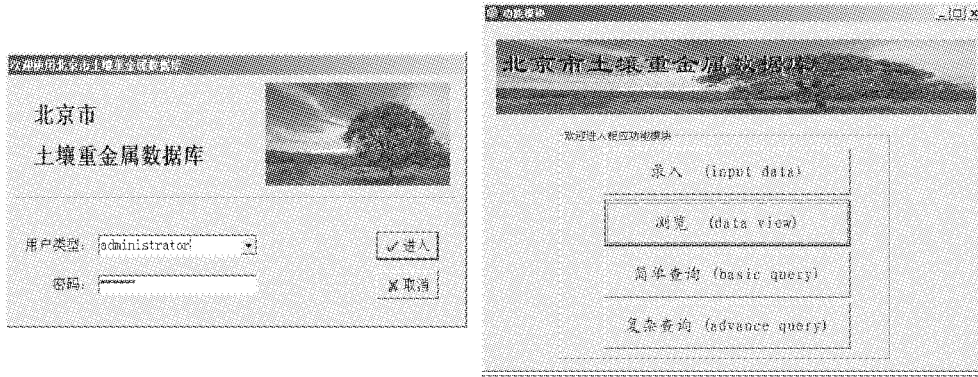


图 3 用户权限级别的管理和主要功能模块  
Fig.3 Manage different users and function

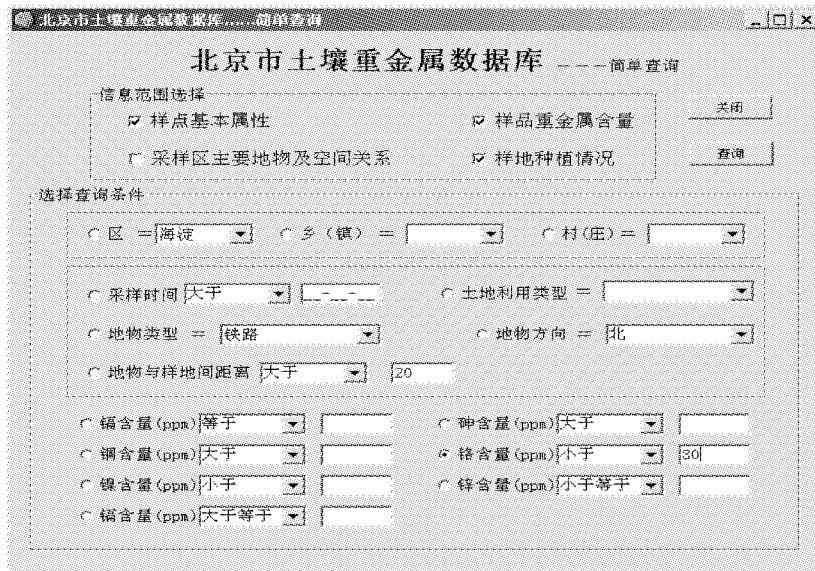


图 4 土壤重金属数据库简单查询界面  
Fig.4 Basic query of SHMD

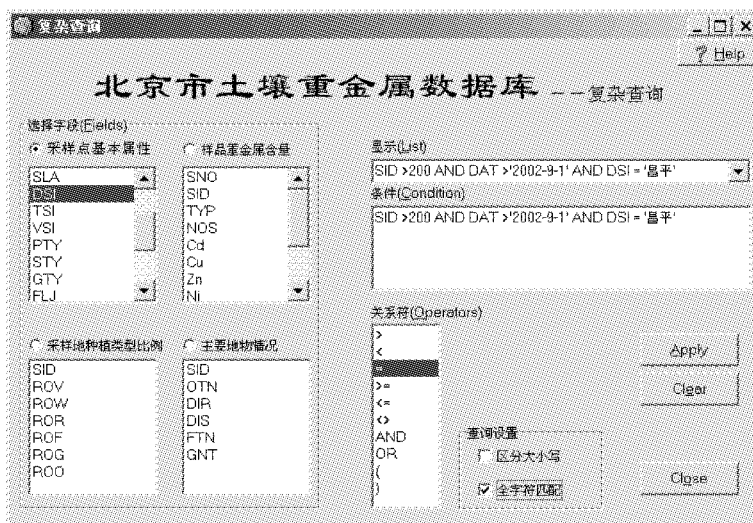


图 5 设置复杂查询

Fig. 5 Advance query

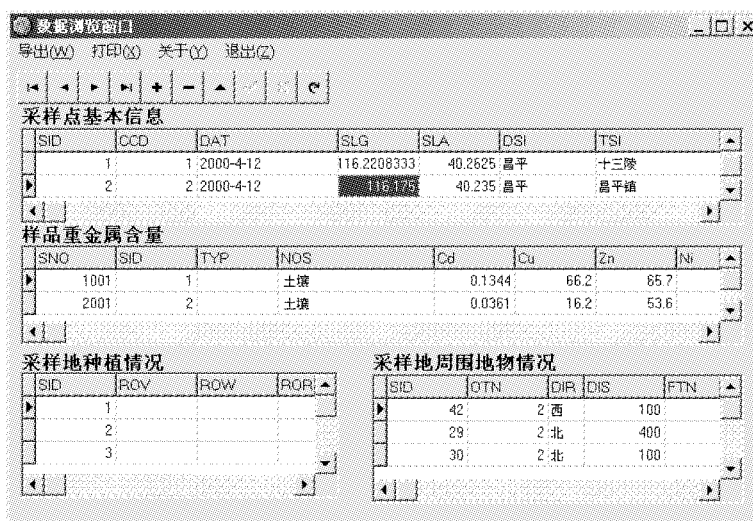


图 6 查询结果和数据浏览

Fig. 6 View the data and result of query

如：查询所有地区，作物以小麦为主（如：占耕地面积的 60% 以上），附近 500 米内有工厂存在的样点的重金属含量及相关信息（图 5）。同时，查询的结果可以导出为 EXCEL 或文本文档，也可以进行打印和复制（图 6）。

### 3 结果和讨论

在本数据库中，针对土壤中砷、镉、锌、铅、铜、镍、铬等 7 种重要重金属，建立了样点编号、样品编号、采样日期等字段共 42 个。所包含的数据具有如下特点：数据面向

土壤中重金属含量和分布这个主题；数据的分类、集成程度比较高；数据一旦确定就不可更改，具有历史价值并长期保存，因此用户只能利用查询的结果进行处理和分析；数据库的数据随时间不断变化，每个样点都对应一个采样日期，新的数据其时间属性必将不同。

以上这些特点符合数据仓库的基本特征。数据仓库的建立能充分利用已有的数据资源，把数据转换为信息，从中挖掘出知识<sup>[20]</sup>。但要建立一个数据仓库系统，还要与分析工具、数据挖掘工具相整合。

通过建立本数据库（SHMD）和相应的数据库管理系统（SHM-MIS），可以使采样点的布局更有针对性和提高土壤调查的取样效率。

传统的均匀布点形式未必适合北京市这样大尺度的采样调查，因为北京市的土地利用情况分布复杂，大多呈斑块状分布，均匀布点的信息代表性难以把握且取样效率不高。因此，采样工作按初期布点，第一批布点，第二批布点等多次追加布点的方案进行，并且分区进行管理，不同区域单独考虑布点方式。初期布点采取各区均匀布点方式，取得数据后统一将数据导出，进行空间插值并画出模拟的重金属分布等值线图，然后再根据模拟结果按分布特点规划下一批的布点，重金属含量变化大的地方布点加密，变化小的地方布点改疏，减少在一块均匀区域内由于面积比较大而布点过多的重复劳动。另一方面也可以避免在重污染区因重金属的空间变异性太大，由于布点密度不够而导致样点代表性不足。下一批的采样和分析结果出来后，这时可再做一次模拟以验证和纠正上一次的模拟结果。这样，每一批的布点都是对前面采样所得信息不足的补充，采样具有针对性，每个样点所代表的信息量可以尽量最大化，从而大幅度提高田间取样的布点效率。我们在对北京市土壤镍的空间和分布特征的研究中<sup>[21]</sup>，通过采用非均匀布点（重点地区加密布点）的采样方法，提高了调查中的取样效率，节省了时间和成本，并且和现实状况拟合也很好。

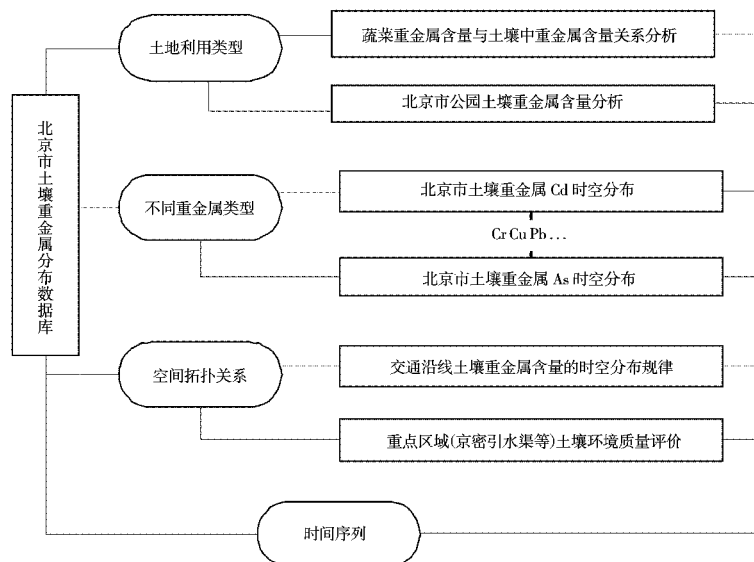


图 7 以土壤重金属数据库为基础的研究拓展

Fig. 7 The research basea on the SHMD

此外, 数据库的数据库管理系统 (SHM-MIS) 对取得的数据可以进行统一的管理, 数据的录入和更新都在同一个地方, 减少了数据的遗失。而且, 各类数据都采用国家标准或国际标准, 便于将重金属数据库整合到 SIS 或 SOTER 中, 成为土壤信息系统的一部分。同时, 也可以为我国开展的第 3 次土壤资源普查工作提供技术平台。

SHMIS 不仅可以进行统计分析, 而且从应用的角度出发, 包含了一些空间拓扑关系, 可以直接进行一些简单的空间分析, 也可以向多方面拓展研究内容 (图 7), 提供对土壤重金属相关信息管理的工具, 便于反映区域土壤重金属分布的历史和现状, 有利于安排采样布点方案。但如何将数据库用于与未来可能的污染相对照, 或者说进行区域土壤重金属污染预测与区域环境质量评估是数据库另一个有待开发的功能。

目前 SHMIS 还只是一个偏重数据管理和信息管理的系统, 但可以以此为基础进一步建立土壤重金属相关信息的地理信息系统 (Soil Heavy Metal Geographic Information System, SHMGIS)。由于在本数据库系统中, 已经建立了采样点经度和采样点纬度两个字段, 为 SHMD 与其他空间数据的连接提供了一个接口。虽然 SHMD 标注了空间坐标, 但目前其空间建模能力还比较弱, 而这又是建立土壤重金属地理信息系统的重要内容。如何解决这些问题, 是我们下一步工作的重点。

#### 参考文献:

- [1] 王慎强, 陈怀满, 司友斌. 我国土壤环境保护研究的回顾与展望. 土壤, 1999, (5): 255~260.
- [2] 陈同斌, 黄铭洪, 黄焕忠, 等. 香港土壤中的重金属含量及其污染现状. 地理学报, 1997, 52(3): 228~236.
- [3] 郑袁明, 余 轲, 陈同斌, 等. 北京市公园土壤铅含量及其污染评价. 地理研究, 2002, 21(4): 418~423.
- [4] Bacon J R, Berrow M L, Shand C A. Isotopic composition as an indicator of origin of lead accumulation in surface soils. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 1992, 46: 71~76
- [5] Kelly J, Thornton I, Simpson P R. Urban geochemistry. a study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and nonindustrial areas of Britain. *Appl. Geochem.*, 1996, 11: 363~370
- [6] 周慧珍. 土壤地理信息系统. 土壤, 1993, 21(6): 32~36.
- [7] FAO/ISRIC. FAO-ISRIC Soil Database (SDB). *World Soil Resources*, 1989, 64.
- [8] FAO/ISRIC/CSIC. Multilingual Soil Database. *World Soil Resources Reports*, 1995, 81.
- [9] 朱松丽, 陈育峰. 全球变化中土壤信息系统的研究进展. 地球科学进展, 1998, 13: 488~494
- [10] 龚子同. 面向 21 世纪的土壤地理学. 土壤学进展, 1995, 23(1): 18.
- [11] 张甘霖, 龚子同, 等. 国家土壤信息系统的结构、内容与应用. 地理科学, 2001, 21(5): 401~405
- [12] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990
- [13] Ernstrom DJ. Enhanced soils information system from advances in computer technology. *Geoderma*, 1993, 60: 327~441
- [14] 张明, 张洪业, 李秀彬, 等. 利用已有资料建立京津塘 1:50 万 SOTER 数据库的实践与问题讨论. 土壤通报, 1999, 30: 32~34.
- [15] 张国枢. 1:50 万 SOTER 制图与数据采集——以辽河下游地区为例. 土壤通报, 1999, 30: 35~38.
- [16] 陈学华, 何毓蓉, 徐建中. 四川盆地 SOTER 数据库的建立. 土壤通报, 1999, 30: 39~41.
- [17] 夏增禄. 中国土壤环境容量. 北京: 地震出版社, 1992
- [18] Daniela S M, Massimo A, Adriana B. Heavy metals in urban soils; a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. *The Science of the Total Environment*, 2002, 300: 229~243.
- [19] 丁力, 汪小林, 罗英伟, 等. 地理信息系统与数据库结合研究. 中国图象图形学报, 2001, 6(11): 1101~1106.



- [20] 萨师焯,王珊.数据库系统概论((第三版)).北京:高等教育出版社,2000. 376~384.  
[21] 郑表明,陈同斌,陈煌,等.北京市土壤镉的空间和分布特征.地理学报,2003,58(3):470~476.

## Development of Soil Heavy Metals Information System: a case study on Beijing

CHEN Huang, ZHENG Yuan-ming, CHEN Tong-bin

(Laboratory of Environmental Remediation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources  
Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The progress and advancement in Soil Information System (SIS) are reviewed in the paper. The status of heavy metal contamination in surface soil showed that it was necessary to develop soil databases of heavy metals as a new special kind of SIS. Such SIS was named Soil Heavy Metals Information System (SHMIS). It was composed of Soil Heavy Metal Database (SHMD) and Soil Heavy Metal Management Information System (SHM-MIS). The SHMIS could be used to investigate the concentrations of heavy metals in soils, and its spatial distribution and spatio-temporal variation.

The paper describes the structures and functions of the database. All kinds of useful data were classified into forty-two fields in six tables, which were related with a key field named SID (Soil samples ID). And the data integrity can be checked and controlled with DBMS. These data stored information, e. g. , basic geographic attributes around sampling areas, concentrations of heavy metals of soil samples, spatial relationships between sampling areas and geographic conditions, the growth status of sampling areas, etc. A kind of MIS named SHM-MIS was developed to manage the information. Under the circumstances of SHM-MIS, data could be browsed, edited, analyzed, and queried according to the identification of users.

Assisted with this database, the sampling procedure would process step by step, i. e. , followed stage of sampling would be directed with spatial analysis based on the data management of database so that the information of sampling could reveal the spatial distribution of heavy metals in soil with proper density of sampling.

Furthermore, this database can support many other researches about heavy metals of soil, such as risk evaluation.

**Key words:** soil; heavy metal; database; SIS; Beijing