

· 研究报告 ·

# 基于 HRS 和 GIS 的城市污染场地动态监测原理分析

蒙莉娜, 李志建, 郑新奇

(中国地质大学土地科学技术学院, 北京 100083)

**摘要:** 选择有代表性的城市场地, 运用网格法土壤采样, 并通过实验室化学分析得出土壤的重金属等污染物质含量, 运用地物光谱仪在实验室设定条件下测定土壤反射光谱, 应用偏最小二乘法 (PLS) 建立高光谱遥感 (HRS) 影像定量反演模型, 预测场地土壤中各种污染物的含量, 并在遥感影像中直观表示。结果表明, HRS 技术能提供大量、连续性的光谱信息; PLS 模型为大尺度城市场地污染快速评价与监测提供了可能性; 并通过结合 GIS 技术可实现城市污染场地的动态监测, 为城市公共管理提供决策支持。

**关键词:** 高光谱遥感; 地理信息系统; 污染物含量预测模型; 土壤

中图分类号: X833 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2009)02-0018-04

## Theoretical Analysis of Dynamic Monitoring of Urban Contaminated Sites Based on HRS and GIS

MENG Lina, LI Zhijian, ZHENG Xinqi

(School of Land Science and Technology, China University of Geosciences Beijing 100083 China)

**Abstract** Topical urban sites were chosen for soil sampling with pollutant levels identified by chemical analysis in lab and soil spectral reflectivity was measured by portable spectrometer in setting condition. The Partial Least Squares Regression (PLS) was used to build quantificational models of HRS images to predict the contamination content of urban soil. The results showed that HRS provided much and continuous spectral information for fast monitoring and evaluation of urban soil contamination in the large-scale, and monitor dynamic change for pollution supervision with GIS and GPS to support decision making and urban management.

**Key words** Hyperspectral remote sensing; Geographic information system; Pollutants concentration prediction model; Soils

城市污染场地是工业化留给城市的“遗产”, 受到工业废弃物污染, 会对环境产生危害<sup>[1]</sup>。吴新民等<sup>[2]</sup>研究表明城市土壤的综合污染程度以老工业区最高, 依次为老居民区、商业区、风景区、城市广场、开发区, 且污染具有岛状分布的特点, 由污染源向周边扩散。传统的土壤环境监测方法依赖于定点采样分析, 耗时长, 成本高<sup>[3-4]</sup>。近年来, 运用研究区高光谱遥感影像与污染物含量的数学关系污染监测是国内外正在兴起的一种有效手段<sup>[5-6]</sup>。高光谱遥感 (HRS) 是在电磁波的紫外、可见光、近红外和中红外区域, 对每个空间像元形成几十个或几百个窄波段 (波谱分辨率  $\leq 10 \text{ nm}$ ) 并连续光谱覆盖, 其特点是光谱分辨率高, 波段连续

性强, 能获得多光谱传感器无法获得、精细的光谱信息<sup>[7]</sup>。

研究表明, 尽管土壤污染物质含量极其低, 难以直接探测其光谱特征, 但由于土壤中的污染物质可以被土壤粘土矿物、铁氧化物和有机质吸附, 这些土壤组分具有明显的光谱特征, 可用作为指示物质, 利用其反射光谱特征来间接快速预测土壤污染

收稿日期: 2008-09-01; 修订日期: 2008-12-25

基金项目: 北京市科技计划软科学研究课题基金资助项目 (Z07020600370712); 国家科技支撑项目基金资助项目 (2006BA B15803); 中国地质大学 (北京) 人才基金资助项目 (51900912300)

作者简介: 蒙莉娜 (1984-), 女, 广西贵港人, 硕士生, 从事土地信息技术应用的研究。

物质含量<sup>[8-9]</sup>。

现旨在提出一种研究思路和技术方法, 基于场地中土壤污染物质的指纹效应, 通过污染物质高光谱数据的重建光谱与实测标准光谱的定量对比分析, 建立光谱定量模型。

## 1 技术与方法

### 1.1 建立土壤物质含量的反射光谱反演模型

#### 1.1.1 土壤采样

选择有代表性的场地作为试验区, 如选择机械制造工业、化工工业、固体废物堆积等典型污染场地, 按照文献[10]用网格法土壤采样。研究表明, 土壤污染物主要在地表 80 cm 内, 其中 Al Cu Pb Zn Fe Mn Sr 等重金属污染物在 0 cm ~ 3 cm 含量很高, 并在约 3 cm 处出现质量浓度峰值; 3 cm ~ 10 cm 处, 含量逐渐降低; > 10 cm, 含量低并且相对稳定<sup>[11]</sup>。另外, 考虑到土壤光谱特性的可获得性, 土壤采样深度应为 0 cm ~ 10 cm, 每个采样点的样本土壤等分为 2 份, 一份用于土壤化学分析, 另一份用于土壤光谱特性测定。

#### 1.1.2 土壤化学分析

需要分析的项目包括粘土矿物、铁氧化物、有机质(用于预测土壤污染物含量)、重金属污染物(如 As Cd Co Cu 和 Hg 等)、有机污染物(如 PCBs PAHs VOCs POPs 等)(用于建立并检验预测模型)。按照文献[10]中规定的方法分析土壤各项的含量  $z_m$ , 见表 1。

表 1 土壤物质化学分析方法

分析项目	分析仪器	分析方法
Cd	原子吸收光谱仪	石墨炉原子吸收分光光度法
Hg	测汞仪	冷原子吸收法
As	分光光度计	硼氰化钾-硝酸银分光光度法
Pb	原子吸收光谱仪	火焰原子吸收分光光度法
Cr	原子吸收光谱仪	火焰原子吸收分光光度法
Zn	原子吸收光谱仪	火焰原子吸收分光光度法
Ni	原子吸收光谱仪	火焰原子吸收分光光度法
六六六和滴滴涕	气相色谱仪	电子捕获气相色谱法
6 种多环芳烃	液相色谱仪	高效液相色谱法
稀土总量	分光光度计	对马尿酸偶氮氯膦分光光度法
有机质		容量法

#### 1.1.3 土壤反射光谱特征测定

光谱测定前, 样本土壤在实验室内 60 °C 恒温烘干, 再用研钵研磨混匀, 并过 120 目筛, 去除土壤中植

物根系, 然后再 60 °C 烘干 24 h 以消除水的影响。

使用便携式地物光谱仪获取土壤在可见光-近红外区域(400 nm-2 500 nm)的光谱反射特征。光谱采样间隔为 2 nm。在暗室内将经过预处理的样品土壤平铺在黑布上, 采用 50 W 光源, 30°照射, 探头距离 15 cm, 光源照射距离 30 cm 测定土壤的光谱反射率<sup>[12]</sup>。

#### 1.1.4 模型构建

近红外光谱的定量分析中常用的方法主要有多元线性回归法(MLR)、逐步回归法(SRA)、主成份回归法(PCA)及偏最小二乘法(PLS)。其中偏最小二乘法应用最为广泛, 该方法解决了多元线性回归法的多重共线性问题, 降低了噪音, 具有更强的预测能力, 而且新的成分对因变量有最强的概括性<sup>[13-14]</sup>。该研究采用偏最小二乘法建立土壤反射光谱与土壤物质含量的定量模型。首先在  $n$  个样本中选用  $n-1$  个样本建立回归模型, 然后利用该模型预测第  $n$  个样本中土壤物质含量 ( $z_p$ ), 重复该步骤, 直至  $n$  个样本中土壤物质含量均被预测 ( $z_p$ )。经典的偏最小二乘法模型见式(1)。

$$X = TP + E$$

$$Y = UQ + F \quad (1)$$

$$U = TB$$

式中,  $X$ : 自变量矩阵;  $Y$ : 因变量矩阵;  $E$ 、 $F$ : 分别为  $X$ 、 $Y$  的残差阵;  $B$  为常数。

运用均方根误差(RMSEP)评测模型预测精度见式(2)。

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum (z_m - z_p)^2}{n}} \quad (2)$$

式中:  $z_m$  为第  $n$  个样本中实测的某种土壤物质含量;  $z_p$  为模型预测含量。RMSEP 越小, 表明该模型预测能力越强。

通过精度检验的预测模型如(3)式所示。

$$Z = A + B \times f(R) \quad (3)$$

式中:  $Z$  为污染物质含量;  $A$ 、 $B$  为常数, 因污染物质不同其取值有差异;  $R$  为指示物质(有机质、粘土矿物、氧化铁物等)的光谱反射率;  $f(R)$  为指示物质光谱反射率与污染物质含量的函数。

## 1.2 数据获取与预处理

高光谱遥感技术开始于 20 世纪 80 年代, 在 20 世纪 90 年代得到迅速发展。目前, 除了应用广泛的 Hyperion 航天高光谱数据外, 我国自行研制的模块化机载成像光谱仪 OMIS 已经多次成功应

用。基于数据的易获得性及可用性,选择监测区域的高光谱数据源。获取合适的高光谱数据后,应数据预处理,具体包括几何校正、辐射校正等,以消除外部因素引起的图像畸变和因气态溶胶引起的辐射影响。

### 1.3 监督分类

城市是人工改造自然的产物,城市场地环境大多具有人工特征,且城市环境中的裸露土壤、绿地、水体等受污染介质呈高度“破碎化”,直接应用城市高光谱遥感图像预测城市场地污染会增加许多不必要的工作量。所以,需要对高光谱遥感图像监督分类,以划分城市土地利用类型。基于场地污染监测的需要,建议将城市环境划分为 4 类场地即人工地物(包括建筑物及硬化道路等)、裸露土壤、绿地、水体,然后对人工地物掩膜处理,只对裸露土壤、绿地及水体污染判别和预测。

### 1.4 城市污染场地监测

通过图像分析获取监测区域指示物质(有机

质、粘土矿物及铁氧化物)的光谱反射率,代入预测模型并运算,即可得到城市场地微量元素含量,进而判断该场地是否受到污染及受污染程度等。

需要说明的是,城市场地中综合污染程度最高的是老工业区,依次为老居民区、商业区、风景区、城市广场、开发区,由污染源向周边扩散,呈岛状分布。高光谱遥感数据的高空间分辨率特性,可以在污染物分布高度“破碎化”条件下实现污染监测。

### 1.5 构建城市污染场地监测管理系统

把 HRS 和 GIS 技术相结合,应用到城市污染场地动态监测与管理上,有利于资料的连续处理、资料数据的充分挖掘利用和数据共享,从整体上获得集约效应。基于 HRS 和 GIS 技术的城市污染场地管理系统设计目标是以 HRS 技术为基础,以 GIS、GPS 技术为辅助手段,以污染场地动态监测模块为核心的系统研发,将 HRS 图像处理技术与 GIS 的监测评价技术融合在一个系统里,实现城市污染场地动态监测的一体化。系统功能结构见图 1。

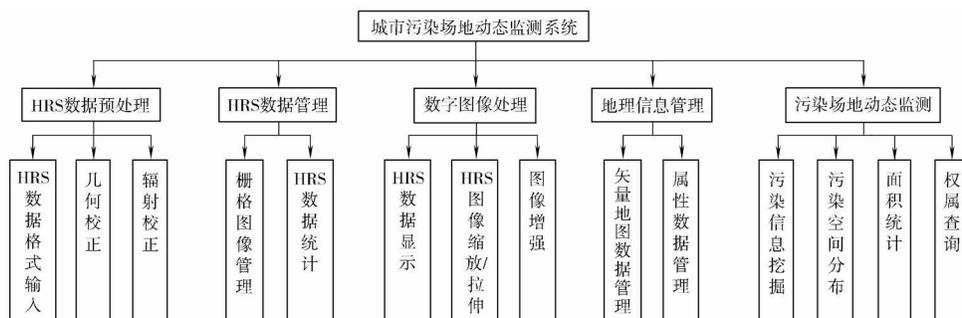


图 1 城市污染土壤监测管理系统结构示意图

## 2 分析与讨论

### 2.1 PLS模型精度分析

高光谱遥感作为一种新技术,可以提供土壤表面状况及其性质的空间信息,同时也具有评价土壤质量的能力。已有一些学者应用地物反射光谱的 PLS 模型预测土壤有机质、水分、重金属等含量。

Lanmert Kooistra 等<sup>[15]</sup>利用植物冠层反射光谱和土壤样本反射光谱建立 PLS 模型,成功地预测污染河滩的土壤成分及重金属 Cd、Zn 的污染水平,有机质、Cd、Zn 的实测含量与预测含量的相关系数分别为 0.74、0.43、0.46。刘华等<sup>[16]</sup>通过地物光谱仪测定长江口崇明东滩盐沼土壤的光谱信息与实验室实测土壤重金属含量,应用 PLS 模型 Zn、Cr、Cu 预测值与实测值相关系数分别达到 0.822、

0.761 和 0.775 均为极显著相关,实测值与预测值的平均相对误差分别为 4%、3% 和 4%。吉海彦等<sup>[17]</sup>用偏最小二乘法建立冬小麦叶片叶绿素和水分含量与反射光谱的定量分析模型,叶绿素的预测值与真实值的相关系数为 0.898,相对标准偏差为 13.6%;水分的预测值与真实值的相关系数为 0.999,相对标准偏差为 0.3%。

以上研究表明,利用高光谱遥感建立 PLS 模型,定量反演地物各种物质含量是可行的,其预测精度基本能满足大尺度环境监测的要求。

### 2.2 城市污染场地监测管理系统功能分析

城市污染场地监测管理系统将遥感影像处理软件的数据预处理功能及地理信息系统的空间数据存储与管理等基本功能集成在一个系统中。污

染场地动态监测模块是该系统的核心,它嵌入了前期实验所建立的一系列污染物质预测模型,通过人机交互方式选择相应的预测模型,通过 HRS 数据处理功能将其计算所得的指示物质反射光谱数据代入到该预测模型中,通过逐步计算得到城市场地环境的污染物含量,进而判断其污染程度。

基于城市公共管理网络平台,该系统可及时反映出城市场地污染状况,在发生场地污染突发事件时,作为决策支持系统,帮助政府快速有效地制定各种措施。

### 2.3 基于 HRS 和 GIS 城市污染土壤动态监测的优越性分析

通过 HRS 数据的定量反演,可获取不同时相的场地污染信息。运用各种图像处理方法挖掘污染变化信息,如图像差值法、图像比值法、KL 变换法等,然后在污染场地动态监测模块下预测计算,确定污染变化的场地空间分布,可快速大范围、立体性地场地污染监测。结合地面环境监测点的监测数据,实时更新场地污染数据,可实时监测各种污染指标的时空变化趋势。

建立基于 HRS 和 GIS 的城市污染场地监测管理系统,可以大大提高场地污染监测的科学性、合理性及实时性,从而大大扩展了场地污染监测的范围和效率。其优越性具体体现为:高光谱遥感定量反演方法为城市污染场地监测管理系统提供正确、宏观、细致的场地污染数据,GIS 可利用其强大的空间信息管理功能,建立污染场地数据库,同时结合地面监测站数据,利用 GPS 精确定位污染源,对污染数据有效地管理、分析和计算并将结果以直观、形象的可视化方式显示出来,从而迅速了解和掌握污染土壤的时空分布、污染现状等信息。

### 3 结语

提出了利用 PLS 模型对城市高光谱遥感影像定量反演,并结合 GIS 进行城市土壤污染监测与管理技术思路和途径。与传统遥感技术相比,HRS 技术能提供大量的、连续性的光谱信息;PLS 模型为大尺度城市场地污染快速评价与监测提供了可能性;城市场地污染监测管理系统将遥感数据处理功能及 GIS 空间数据管理与分析功能集成在一个系统中,并嵌入污染预测模型,在一个平台上实现了 HRS 数据处理及污染监测的全过程,大大简化了监测程序。下一步的工作是针对具体的城市土

壤污染情况,借助该研究提出的思路进行案例研究,进一步验证其可行性,探讨波谱特性,并开展成本效益分析,提出相关的技术参数等。

### [参考文献]

- [1] 蒙莉娜,郑新奇,王淑晴. 发达国家污染产地在开发实践经验对北京市的启示[J]. 资源与产业, 2007, 9(5): 91-96.
- [2] 吴新民,潘根兴,姜海洋,等. 南京城市土壤的特性与重金属污染的研究[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 19-23.
- [3] 郑袁明,宋波,陈同斌. 北京市不同土地利用方式下土壤锌的积累及其污染风险[J]. 自然资源学报, 2006, 21(1): 64-73.
- [4] 侯建兵,钱谊,张纪伍. 城市工业用地土壤重金属污染调查[J]. 环境监测管理与技术, 2006, 18(3): 16-17.
- [5] 徐祥德,周丽,周秀骥,等. 城市环境大气重污染过程周边源影响域[J]. 中国科学 D 辑地球科学, 2004, 34(10): 958-966.
- [6] 卢霞,刘少锋,郑礼全. 矿区植被重金属胁迫高光谱分辨率数据分析[J]. 测绘科学, 2007, 32(2): 111-113.
- [7] 何挺. 土地质量高光谱遥感监测方法研究[D]. 武汉:武汉大学, 2003.
- [8] WU Y ZH, CHEN J, JUN F I et al Feasibility of reflectance spectroscopy for the assessment of soil mercury contamination[J]. Environ Sci Technol, 2005(39): 873-878.
- [9] BEN-DOR E, CHENY. The reflectance spectra of organic matter in the visible near infrared and short wave infrared region (400-2500 nm) during a controlled decomposition process[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 6(1): 1-15.
- [10] 国家环境保护总局. HJ/T 166-2004 土壤环境监测技术规范[S]. 北京:中国环境出版社, 2004.
- [11] 沈明杰,胡守云,BLAHA U,等. 北京石景山工业区附近一个污染土壤剖面的磁学研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(6): 1665-1673.
- [12] 周清,张扬珠,周斌,等. 室内几何条件对土壤高光谱数据波动性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2004, 30(1): 29-32.
- [13] 李巨宝,田庆久,吴昀昭. 滏阳河两岸农田土壤 Fe, Zn, Se 元素光谱响应研究[J]. 遥感信息, 2005, 20(3): 10-13.
- [14] 杜培军,陈云浩,方涛,等. 高光谱遥感数据光谱特征的提取与应用[J]. 中国矿业大学学报(自然科学版), 2003, 32(5): 500-504.
- [15] LAMMERT K, RON W, LUTGARDEM C B et al Possibilities of soil spectroscopy for the classification of contaminated areas in river floodplains[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2001, 3(4): 337-344.
- [16] 刘华,张利权. 崇明东滩盐沼土壤重金属含量的高光谱估算模型[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3427-3434.
- [17] 吉海彦,王鹏新,严泰来. 冬小麦活体叶片叶绿素和水含量与反射光谱的模型建立[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(3): 514-516.