

徐州城市表层土壤的磁学特征

Magnetic Characteristics of Xuzhou Urban Topsoils

王学松/WANG Xue-song¹, 秦 勇/QIN Yong²

1. 淮海工学院化学工程系, 江苏连云港 222005
2. 中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏徐州 221008

1. Department of Chemical Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, Jiangsu Province, China
2. School of Mineral Resources and Geo-Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, Jiangsu Province, China

[摘要] 城市表层土壤由于受到人为活动的强烈影响而表现出与自然土壤不同的磁学特征。徐州城市表层土壤的环境磁学研究表明, 表层土壤的磁学特征主要是由人为产生的多畴/单畴的亚铁磁性矿物主导; 同时含有一定数量不完整的反铁磁性矿物的贡献。提取典型土壤样品中磁性矿物的 SEM/EDX 分析结果表明: 人为产生的磁性矿物一般呈球形且粒径较大。柱状样品的磁学特征显示, 人为输入的磁性矿物主要集中在表层 0~30 cm 范围, 因此, 0~30 cm 表层土壤的磁学性质可以指示外源输入磁性矿物的压力强度。

[关键词] 环境磁学, 城市表层土壤, 磁性矿物, SEM/EDX 徐州

[中图分类号] P318, X144

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2005)11-0014-06

Abstract: Special magnetic characteristics of urban topsoils are shown as a result of anthropogenic pollution compared to those of the natural soil. Study on environmental magnetic characteristics was conducted on the Xuzhou urban topsoils and the results indicated that the magnetic characteristics were dominated by the multi-domain / single domain ferri-magnetic minerals. Anti-ferromagnetic minerals had a little contribution to the magnetic enhancement. SEM/EDX of magnetic minerals extracted from the representative soil samples revealed the presence of typical large spherules, consisting of a great of iron, probably due to anthropogenic inputs. Magnetic characteristics of different profiles at varying depths also revealed that magnetic minerals from anthropogenic sources were confined to 0~30cm layer, so the pressure of magnetic minerals from anthropogenic inputs may be assessed through magnetic characteristics of 0~30 cm urban soils.

Key Words: environmental magnetism, urban topsoil, magnetic minerals, SEM/EDX Xuzhou

CLC Numbers: P318, X144

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2005)11-0014-06

1 引言

环境磁学自 20 世纪 70 年代中期以来, 在地学许多领域得到了广泛应用^[1]。目前, 通过现代沉积物环境磁学的研究, 探讨其在环境污染、物源判别等领域的应用是环境磁学重点发展领域之一^[2-3], 如欧盟资助欧洲 11 个实验室联合开展以环境污染为重点的环境磁学研究项目“MAG - NET (1999-2001)”。近些年, 我国对湖泊沉积物、长江口潮滩沉积物以及大气颗粒物磁学特征及其相关污染物磁学代用指标研究取得了较大进展^[4-7], 然而对城市表层土壤环境磁学研究及其环境应用的报道较少。

现代城市表层土壤磁性质和磁学特征与人类活动有着密切的关系。首先, 化石燃料燃烧过程中能够释放大量的亚铁磁性微粒^[8]; 钢铁冶炼、水泥制造、交通运输等过程同样能够产生大量磁性矿物颗粒; 随着这些磁性颗粒沉降到城市土壤的表层, 就会造成城市表层土壤的污染, 导致城市表层土壤磁学特征明显地不同于自然土壤^[9]。其次, 这些人类活动产生磁性矿物的同时往往会伴随着产生许多有害物质如重金属、SO₂、NO₂ 和多环芳烃等^[10]。城市土壤

是某些有害污染物(如重金属和 SO₂ 等)的汇集处, 因此, 探讨是否可以利用城市表层土壤磁性参数作为这些污染物污染程度替代指标具有重要的实际意义和应用价值。

徐州位于江苏省西北部, 地处苏、鲁、豫、皖四省交界, 其交通便捷、煤炭资源丰富、重型工业发达。这些条件为徐州经济的快速发展提供了便利, 但同时也可能给徐州城市环境造成一定污染压力。2003 年江苏省环境状况公报的数据表明: 徐州城市的 SO₂ 和可吸入颗粒物(IP)都超过了国家二级标准, 酸雨也呈加重趋势。因此, 本文选择以徐州城市表层土壤为研究对象, 比较详细地研究了徐州城市表层土壤的磁学性质和表层土壤中重金属、硫及溴的含量, 探讨了利用磁学测量技术作为污染物特别是重金属和 SO₂ 的代用指标的可行性, 主要介绍了对徐州城市表层土壤环境磁学特征(磁性矿物类型、粒度等)进行的较为细致的研究, 以期为进一步选择恰当的城市表层土壤污染物(如重金属、SO₂ 和多环芳烃等)的磁学代用指标奠定基础。

收稿日期: 2005-09-15

基金项目: 江苏省“333”学术技术带头人基金和江苏省“六大高峰人才”项目资助

作者简介: 王学松, 男, 江苏省连云港市淮海工学院化学工程系, 博士, 研究方向为环境磁学与环境地球化学;

E-mail: snowpine1969@yahoo.com.cn

2 样品和方法

2.1 样品的采集

根据徐州市城市表层土壤的主要分布区域和利用类型,按照重点地区(如主要污染区)和面上均匀分布相结合的原则,系统采集了具有代表性的表层土壤(0~20 cm) 21 件。每个采样点的土壤分析试样均由多点采集混合而成。柱状样品取自徐州钢铁厂下风向约 500 m 处的基本未受人为扰动的废弃空地,样芯长 50 cm。采集的土壤样芯现场以 5 cm 间距进行分割,获得了 10 个土壤样芯的样品。研究区域及其采样点见图 1。

2.2 样品预处理与分析

采集的土壤样品经风干、过 2 mm 的尼龙筛去除杂物等,再进一步用玛瑙研钵研磨,过 100 目的尼龙筛后,进行磁学参数的测量。

样品的高频磁化率和低频磁化率采用英国 Bartington MS2 磁化率仪测量;对非磁滞剩磁(ARM, 交变磁场峰值 100 mT, 直流磁场 0.04 mT) 和等温剩磁(IRM) 的测量用英国 Molspin 公司生产的交变退磁仪、脉冲磁化仪和 Minispin 旋转磁力仪完成;并根据测量结果计算了磁化率(χ)、频率磁化率(χ_{fi})、饱和等温剩磁(SIRM=IRM1000mT)、软剩磁(SOFT=IRM_{30mT})、非磁滞剩余磁化率(χ_{ARM})等参数,以及比值参数 χ_{fi}/χ 、 χ_{ARM}/χ 、 $\chi_{ARM}/SIRM$ 、 $SIRM/\chi$ 、 F_{300} 、 S_{-100} 对典型土壤样品(样品 NO.1 和样品 NO.12 以及土壤柱状样品的表层样品(编号为 1)和底层土壤样品(编号为 10),用可变磁天平(VFTBE)进行热磁分析。

按照文献[11]给出的方法,提取了样品 1 和样品 12 中的磁性颗粒,并进行了 SEM/EDX 分析。



图 1 徐州市城市表层土壤采样位置示意图

表 1 徐州城市表层土壤基本磁学参数及其统计参量

	χ 10 ⁻⁸ m ³ /kg	χ_{fi} %	SOFT 10 ⁻⁵ A·m ² /kg	SIRM 10 ⁻⁵ A·m ² /kg	χ_{ARM} 10 ⁻⁸ m ³ /kg	F_{300mT} %	S_{-100mT} %	$SIRM/\chi$ 10 ³ A·m ⁻¹	χ_{ARM}/χ	$\chi_{ARM}/SIRM$ 10 ⁻⁵ Am ⁻¹
1	775	1.55	1099.6	6793.4	567	95.36	89.38	8.76	0.73	8.34
2	222	2.25	398.6	5785.6	762	95.41	84.52	26.06	3.4	13.17
3	86	4.65	171.6	1168.5	305	92.06	81.26	13.58	3.5	26.10
4	100	4.00	213.5	1535.5	264	93.23	75.96	15.35	2.6	17.19
5	233	3.43	467.4	3399	555	94.22	83.37	14.58	2.4	16.33
6	200	2.50	384.7	2646.8	358	95.22	85.10	13.23	1.8	13.53
7	93	4.30	173.7	1261.3	293	93.84	81.53	13.56	3.2	23.23
8	451	2.44	1159.5	7302.2	829	96.08	89.41	16.19	1.8	11.35
9	65	3.08	118.2	817.8	194	106.4	82.33	12.58	3.0	23.72
10	451	2.88	903.4	5723.6	769	107.6	88.81	12.67	1.7	13.43
11	103	0.97	171.8	1236.3	179	106.9	83.92	12.00	1.7	14.48
12	110	4.55	240.8	1808	393	91.02	79.29	16.43	3.6	21.74
13	138	2.89	250.5	1678.2	303	106.7	84.97	12.16	2.2	18.05
14	72	4.17	138.1	1003.8	238	103.5	78.93	13.94	3.3	23.71
15	147	2.72	274.1	1906	359	106.3	85.04	12.96	2.4	18.83
16	47	2.13	67.0	582.4	106	103.9	76.48	12.39	2.3	18.20
17	107	3.74	864.6	1706.7	441	89.92	78.10	15.95	4.1	25.84
18	167	5.39	316.4	2238.7	576	92.12	81.94	13.40	3.4	25.73
19	69	4.35	117.9	938.4	234	91.41	77.75	16.6	3.4	24.94
20	57	6.78	113.1	807	309	89.80	75.95	13.67	5.2	38.29
21	64	4.69	120.9	786.4	225	91.08	79.14	12.28	3.5	28.62
Mean	179	3.59	3698	2434.6	393	97.24	82.05	14.06	2.8	20.23
Median	107	3.43	240.8	1678.2	309	95.22	81.94	13.6	3.0	18.83
S.D.	177.6	1.52	337.6	2102.9	207	6.56	4.23	3.23	0.10	7.00
Skewness	2.4	0.54	1.46	1.4	0.88	0.588	0.26	2.57	0.15	0.58
Kurtosis	5.8	0.11	0.89	0.69	-0.19	-1.42	-0.82	9.88	0.48	0.70
Range	728	5.81	1092.5	6719.8	72.3	17.8	13.64	17.3	4.5	29.9
Mininum	47	0.97	67	582.4	106	89.8	75.95	8.76	0.73	8.34
Maxinum	775	6.78	1159.5	7302.2	829	106.7	89.41	26.06	5.2	38.3

3 结果与讨论

表 1 给出了研究区域表层土壤的基本磁学特征参数及其基本的统计参量,其中 χ 、SIRM、SOFT、 χ_{ARM} 等参数主要与磁性矿物含量有关, χ_{fi} 、 χ_{ARM}/χ 、 $\chi_{ARM}/SIRM$ 、 $SIRM/\chi$ 、 F_{300} 、 S_{-100} 等参数主要反映了磁性矿物的颗粒大小和磁性矿物的类型[12]。

表 1 的数据表明:指示不同区域的土壤样品中磁性矿物含量的参数变化较大,如 χ 的变化介于 $47\times10^{-8}\sim775\times10^{-8}$ m³/kg 之间,算术平均值为 179×10^{-8} m³/kg。徐州市城市表层土壤磁化率的变幅以及算术平均值均高于南京市城市表层土壤(南京市城市土壤的磁化率变幅为 $11.6\sim506.4\times10^{-8}$ m³/kg,平均为 118.6×10^{-8} m³/kg)[13]。SIRM 的变幅是 $582.4\times10^{-5}\sim7302.2\times10^{-5}$ A·m²/kg,全矩 6719.8×10^{-5} A·m²/kg。相比而言,指示土壤样品中磁性矿物类型和磁性矿物粒径的参数的变化较小,如 F_{300} 、 S_{-100} 的最大与最小值分别为 106.7%、89.8%;89.41%、75.95%,这些磁性参数的变化特征显示了土壤样品磁性特征的差异性和共性。

3.1 磁性矿物

环境磁学研究中,磁性矿物一般是指亚铁磁性矿物(如磁铁矿、磁赤铁矿等)和不完整反铁磁性矿物(如赤铁矿和针铁矿等)。尽管不完整的反铁磁性矿物与顺磁性、抗磁性物质都属于弱磁性矿物,但由于其能携带剩磁,因而被归为磁性矿物一类。

磁化系数 F_{300} 是样品在 300 mT 磁场中磁化后所携带剩磁与饱和等温剩磁的比值,反映了样品中亚铁磁性矿物与不完整反铁磁性矿物的相对比例,它随着不完整反铁磁性矿物贡献的增加而下降。徐州市城市表层土壤样品的 F_{300} 平均达到 97.24%(表 1),即土壤样品经过 300 mT 的磁场磁化后,土壤样品所携带剩磁已接近饱和,说明研究区亚铁磁性矿物主导了样品磁性特征。

饱和剩磁矫顽力(B_{0CR})是使饱和等温剩磁降低到零的磁场强度。它是一种比较直接而且非常有用的磁滞参数,可以用来测定磁性矿物类型以及晶粒度大小并有助于鉴别磁性混合物来源[1]。

单畴和多畴磁铁矿的饱和剩磁矫顽力的理论值分别为 33 mT 和 15 mT,而赤铁矿的剩磁矫顽力理论值为 300 mT^[14]。图 2 显示本研究区域的样品剩磁矫顽力介于 30~40 mT 之间,表明研究区域样品中主要磁性载体是磁铁矿,但也存在一定量的赤铁矿;同时,不同采样点的样品的 $(B_0)_{CR}$ 的数值较为相近,显示了相对一致的磁性矿物组成。

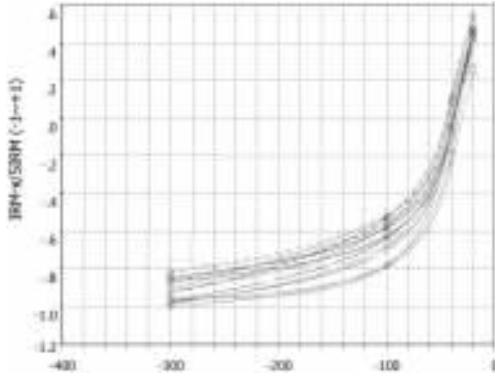


图 2 样品 $IRM_x/SIRM$ 随外加反向磁场的变化关系
(注: x 表示反向磁场的强度,分别为
-20mT;-40mT;-100mT;-300mT)

饱和等温剩磁(SIRM)不受顺磁性和抗磁性物质的影响,主要指示来自亚铁磁性矿物和不完整反铁磁性矿物的贡献;软剩磁(SOFT)则主要反映了亚铁磁性矿物的含量^[15]。SIRM 与 χ 的高度线性相关以及 SIRM 与 SOFT 的显著相关(图 3),同样反映了 χ 的变化主要受到亚铁磁性矿物的控制。

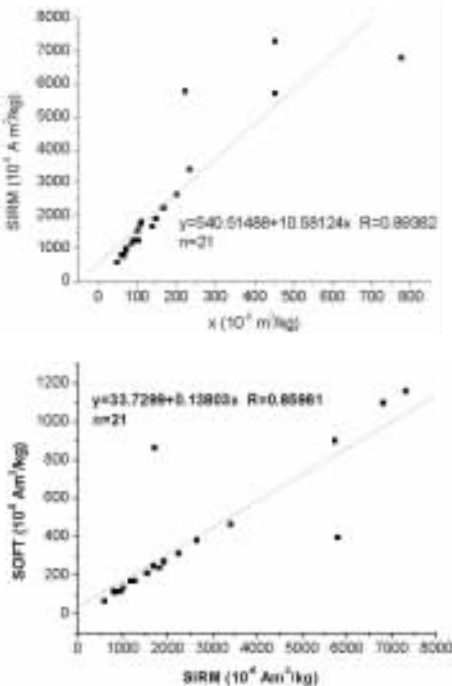


图 3 SIRM 与 χ 以及 χ 与 SOFT 的关系

图 4 揭示了典型样品(样品 1 和样品 12)的热磁曲线特征。两个样品的居里点(T_c)都在 580℃左右,指示样品的磁学性质主要为磁铁矿所主导,这与图 5 的结论一致。样品 12 在 500℃左右存在一个峰,表明在样品加热过程中形成了新的磁性矿物,而样品 1 的热磁曲线比较平滑,指示出可能只存在磁铁矿一种磁性矿物。

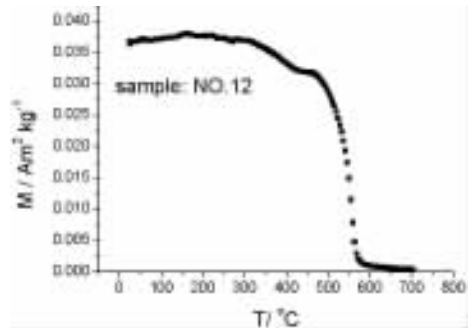
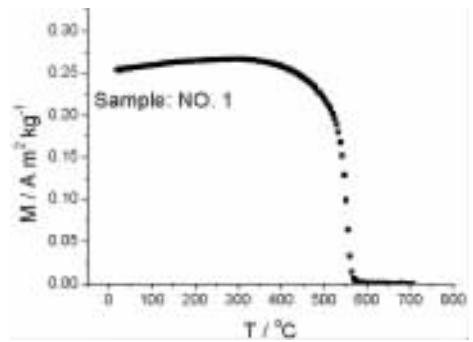


图 4 典型样品(原样)热磁曲线

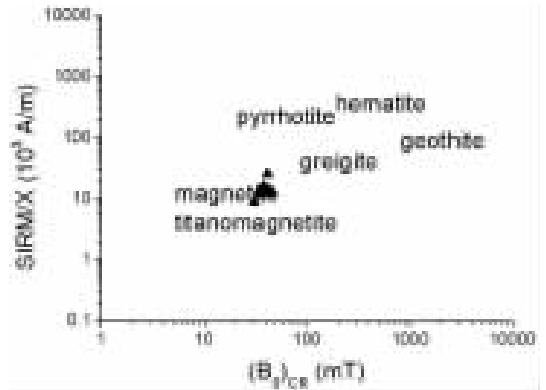


图 5 磁性矿物的识别图
(注:底图据 Peters 等,1998^[16])

3.2 磁性矿物的粒度特征

研究区样品的 χ_{fd} 的变化范围介于 0.97%~6.78%之间,平均值为 3.59%(表 1),指示出不同样品中磁性矿物粒度的组成复杂(单畴、多畴和超顺磁磁性矿物同时存在)。本研究区域 χ_{fd} 的算术平均值大于 Coventry 的城市土壤(2.71%)^[12],但小于江苏南京市土壤的算术平均值(6.3%)^[13]。

非磁滞剩磁磁化率 χ_{ARM} 是对稳定单畴(SSD, 0.04~0.06 μm)极为敏感的参数,SSD 晶粒的 χ_{ARM} 显著地高于超顺磁晶粒(SP, < 0.03 μm)和多畴晶粒(MD, > 10 μm)^[17]。土壤样品的 χ 和 χ_{ARM} 的统计分析表明 χ 与 χ_{ARM} 呈显著相关,这也指示了稳定单畴磁性矿物的贡献(图 6)。

Bradshaw 等(1985)构建了以 $SIRM/\chi$ 对 $(B_0)_{CR}$ 作图来区分样品中磁性矿物晶粒粒径的范围(图 7)^[18]。本区样品中磁性矿物的晶粒粒径集中在单畴和多畴的范围内,这与前面利用其它参数的判断结果基本一致。

饱和等温剩磁(SIRM)与磁化率(χ)的比值可以用来定量地估算样品中几个微米的磁性矿物的晶粒粒度^[18]。图 3(右)显示研究区土壤样品中明显地沿对应于 $SIRM/\chi$ 比值为 $10 \times 10^3 A m^{-1}$ 的

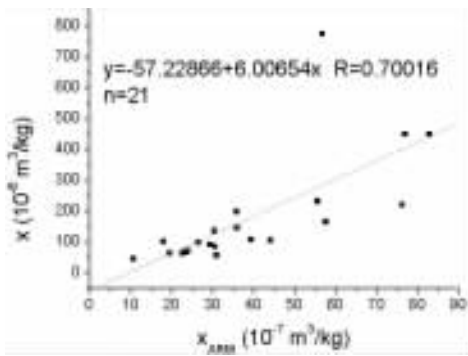


图6 磁化率与非磁剩磁磁化率的关系

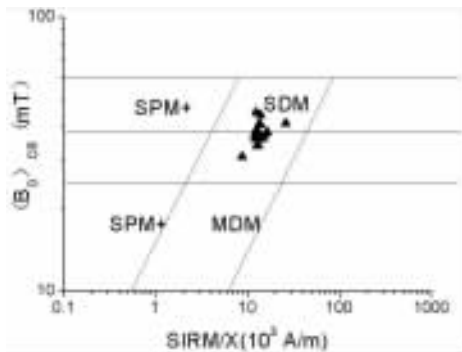


图7 SIRM/χ 对(B₀)CR 的双对数关系

(注:SPM 表示超顺磁性矿物,SDM 表示单畴磁性矿物,MDM 表示多畴磁性矿物)

斜线聚集,据此可以认为研究区土壤样品中磁性矿物的等效粒度约为 $5 \mu\text{m}^{[1]}$ 或为 $8 \mu\text{m}^{[19]}$ 。

3.3 磁性矿物的形貌特征与成分分析

典型土壤样品中提取的磁性矿物的 SEM-EDX 的分析结果表明,样品中磁性颗粒的外形除了呈不规则形状外,还出现了许多与人类活动有关的球状磁性颗粒(图8和图9)。

钢铁厂附近土壤样品中球状的磁性颗粒可以分为4类:表面爆裂,直径约 $30 \sim 40 \mu\text{m}$ (图8a);表面比较粗糙,有瘤状突起,直径为 $120 \mu\text{m}$ (图8b);表面呈珊瑚礁状,直径为 $60 \mu\text{m}$ 左右(图8d);表面比较光滑,具有金属光泽,直径 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ (图8c)。这与张红(2000)研究山西晋城钢铁厂附近大气颗粒物的形态特征相似^[20],表明这些磁性颗粒主要来源于钢铁厂。

与钢铁厂附近土壤中磁性颗粒形态特征相比,路边土壤样品中磁性颗粒具有独特的形态特征:颗粒物是表面较为光滑(图9a, c, d, e)或褶皱(图9b)的空心球体,直径 $20 \sim 30 \mu\text{m}$,这与 Varrica 等(2003)研究路面沉积物时发现的磁性矿物形貌比较一致,可以认为这类磁性矿物可能是由于交通运输工程中燃料高温燃烧过程中形成的^[21]。

EDX 能谱的数据表明:对于钢铁厂附近土壤样品中磁性颗粒主要是由 Fe 构成;而路边土壤样品中磁性颗粒的组成相对比较复杂,除了 Fe 元素外,还含有 Ti、Ca、Al、Si 等元素;同时在路边土壤样品中发现磁性颗粒与第一过渡系列元素 Cu、Zn 共生(图9e),这在其它磁性颗粒中未能检出。

3.4 典型土壤样品垂向磁学特征

采集的柱状样品的表层(0~5 cm)和底层(45~50 cm 土壤(原样)样品的热磁曲线见图10)。表层土壤样品的居里点(T_c)为 580°C 左右且曲线较为平滑,指示样品的磁学特征主要为磁铁矿一种矿物所主导;底层土壤样品的热磁曲线相对比较复杂且磁性

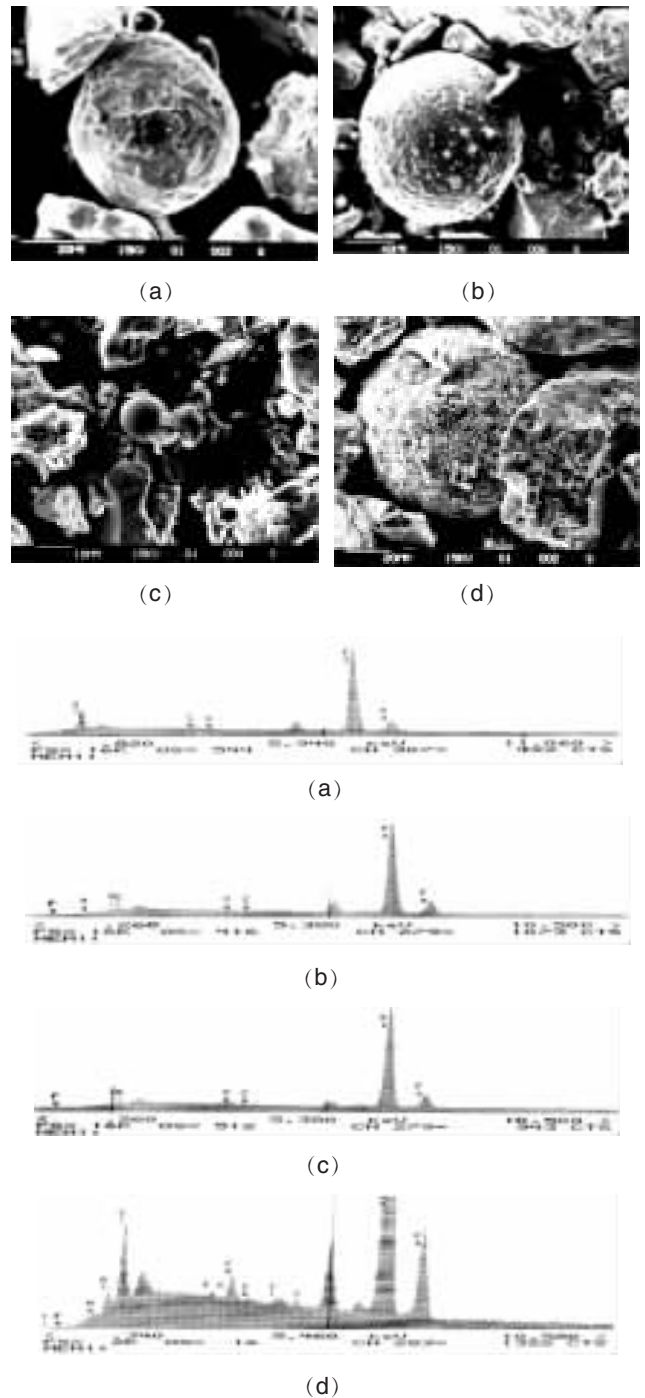
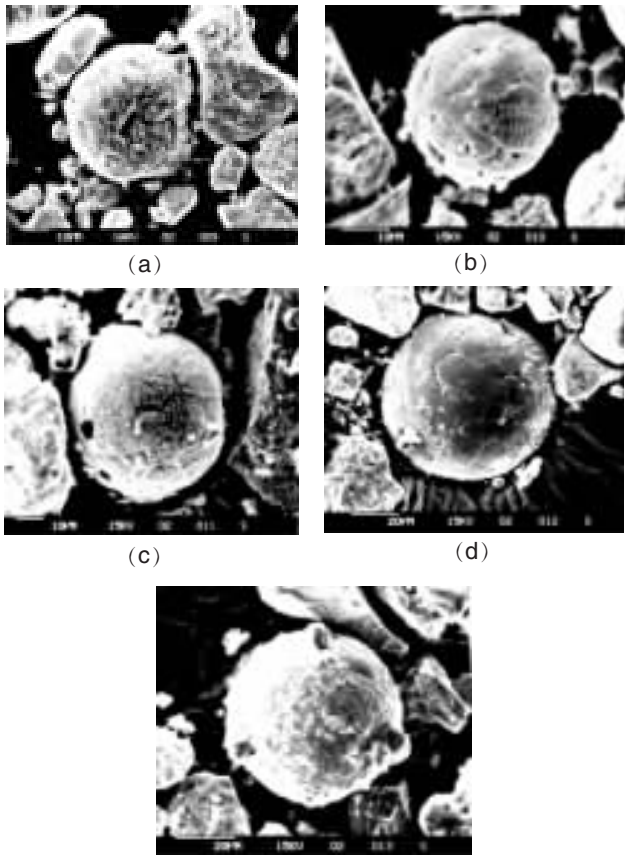


图8 样品1中磁性矿物的形貌与EDX能谱图

矿物的含量比较低(底土样品的磁化率为 $30 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$,表土样品的磁化率 $379 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$);底土样品热磁曲线在 200°C 时表现为1个峰,可能是土壤中水合铁的化合物或其它含铁的矿物在加热过程中形成新的矿物^[22],因此该样品的热磁曲线主要反映了加热过程中形成的次生的亚铁磁性矿物的行为特征。

图11给出了样芯样品磁学参数的垂向变化特征。 $F_{300\text{mT}}$ 和 S_{100} 都是指示样品中亚铁磁性矿物和不完整的反铁磁性矿物的相对比例的磁学参数。本区 $0 \sim 30 \text{ cm}$ 样品的 $F_{300\text{mT}}$ 大于 94% , S_{100} 大于 82% ,指示在 $0 \sim 30 \text{ cm}$ 范围内样品的磁学性质主要为亚铁磁性矿物所主导,这与上述的剖面1的热磁曲线的结论一致。

χ , χ_{ARM} 、SOFT 和 SIRM 等磁学参数主要指示了样品中亚铁磁



(a) (b) (c) (d) (e)

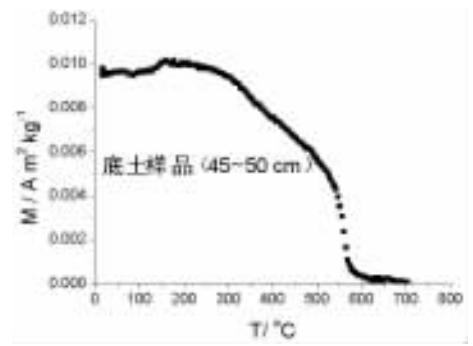


图 10 表土和底土样品热磁曲线

性矿物的含量的多少。从图 11 可以看出, χ 、SOFT、SIRM、 χ_{ARM} 在 0~30cm 范围显著减小;在 30~50 cm 范围几乎呈近乎平行于 Y 轴伸展,反映了 30~50 cm 范围内土壤环境受人为因素影响较小的特点。

$\chi_{f0\%}$ 指示了样品中超顺磁(SP)和细粘滞性(FV)颗粒的相对重要性; $\chi_{ARM}/SIRM$ 主要反映了样品中亚铁磁性矿物晶粒大小的特征,其比值随单畴组分的比例增大而增大。 $\chi_{ARM}/SIRM$ 和 $\chi_{f0\%}$ 在 0~30 cm 范围内逐渐增大,而在 30~50 cm 范围则逐渐减小,指示了在 0~30 cm 范围内土壤中细粒子的磁性矿物逐渐减少。这可能一方面是因为城市表层土壤中富集一定数量的 $SO_2^{[23]}$,土壤表层中细粒子的亚铁磁性矿物在光照情况下比较容易以化学吸附的方式固定周围的 SO_2 ,导致这些细晶粒的亚铁磁性矿物与 SO_2 发生化学反应生成相应的硫酸盐以至溶解^[24],而下层的细粒子的亚铁磁性矿物所受的影响则较小;另一方面可能是因为直接由水的淋溶作用导致细粒子的亚铁磁性矿物向下迁移。

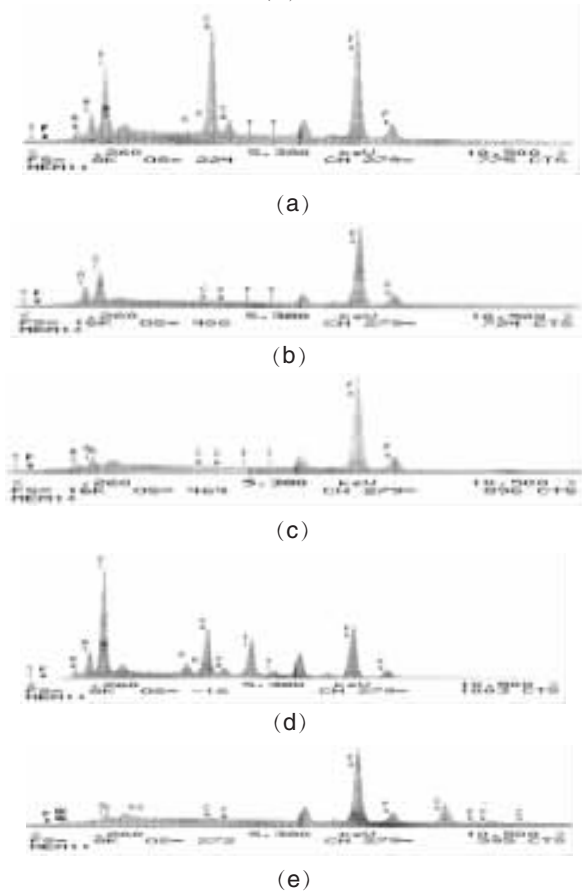


图 9 样品 12 中磁性矿物的形貌与 EDX 能谱图

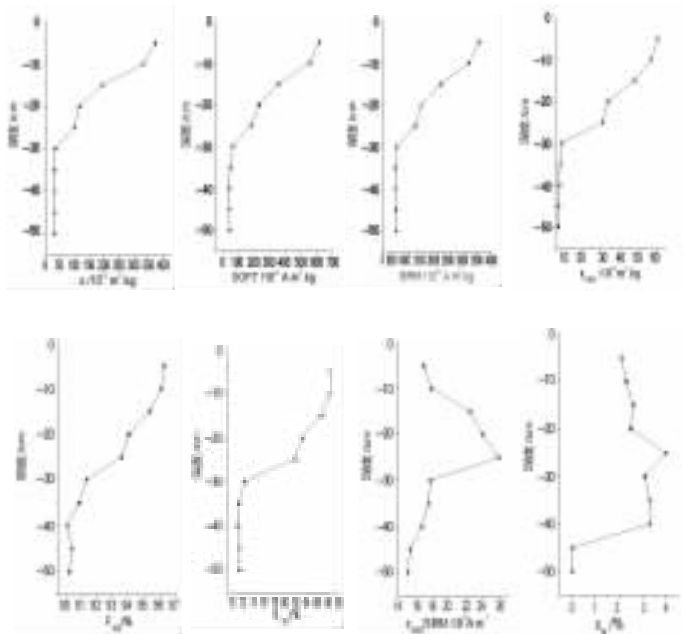


图 11 样芯样品磁学参数的垂向特征

$IRM_{-100mT}/SIRM$ 的比值能够区分亚铁磁性与不完整的反铁磁性矿物^[19]。比值接近-1 指示土壤样品中亚铁磁性矿物起主导作用;比值趋向 0 意味着土壤样品的磁性较弱,在-300mT 的磁场没有达到饱和。 $IRM_{-20mT}/SIRM$ 比值的含义类似于 $IRM_{-100mT}/SIRM$,由于施加的反向磁场较弱(-20mT),所以比值趋向+1 指示土壤样品

中亚铁磁性矿物居于主导地位。图 12 显示从表层土壤到底层土壤,硬剩磁的组分显著增加。

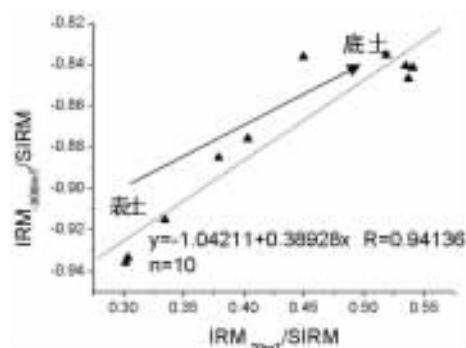


图 12 $IRM_{-100mT}/SIRM$ 与 $IRM_{-20mT}/SIRM$ 关系

4 结论

1) 徐州市表层土壤的磁学特征主要由 SSD/MD 亚铁磁性矿物所主导。

2) SEM/EDX 分析结果表明,人为产生的磁性矿物一般呈球形且颗粒较大;位于交通干道的路边土壤中磁性矿物除了含有元素 Fe 外,往往同时含有 Ti、Ca、Al、Si,这与来自钢铁厂附近提取的磁性矿物组成明显不同。

3) 从柱状样品的磁性特征分析来看,人类活动产生的磁性矿物一般集中在表层土壤 0~30 cm 的范围,因此,0~30 cm 范围表层土壤的磁学特征可作为判断环境污染的证据。

(致谢:对华东师范大学国家河口海岸国家重点实验室的张卫国博士在环境磁学实验给予的帮助,作者深表谢意。)

参考文献 (References)

- [1] Thompson R, Oldfield F. Environmental Magnetism [M]. London: Allen and Unwin, 1986
- [2] Dekkers, M.J. Environmental magnetism: an introduction [J]. *Geologie en Mijnbouw*, 1997, 76: 163~182
- [3] 王学松, 秦勇. 城市环境中磁学响应的研究进展 [J]. *中国环境监测*, 2003, 19(6): 62~64
- [4] 王云飞, 胡守云, 尹宇, 等. 大气污染的湖泊响应及其代用指[J]. *湖泊科学*, 2003, 15(2): 97~103
- [5] 张卫国, 俞立中, Hutchinson S M. 长江口南岸边滩沉积物重金属污染记录的磁诊断方法[J]. *海洋与湖沼*, 2000, 31(6): 616~623
- [6] Zhang W G, Yu L Z, Hutchinson S M. Diagenesis of magnetic minerals in the intertidal sediments of the Yangtze estuary, China and its environmental significance [J]. *The Science of the Total Environment*, 2001, 266(1~3): 169~175
- [7] Shu J, Dearing J A, Morse A P, et al. Determinating the sources of atmospheric particles in Shanghai, China, from magnetic and geochemical properties[J]. *Atmospheric Environment*, 2001, 35: 2 615~2 625

- [8] Flanders P J. Collection, measurement and analysis of airborne magnetic particulates from pollution in the environment [J]. *Journal of Applied Physics*, 1996, 75: 5 931~5 936
- [9] Heller F, Strzyszcza Z, Magiera T. Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland[J]. *J Geophysical Research*, 1998, 103: 17 767~17 774
- [10] Morris W A, Versteeg J K, Bryant D W, et al. Preliminary comparisons between mutagenicity and magnetic susceptibility of respirable airborne particulate [J]. *Atmospheric Environment*, 1995, 29(23): 3 441~3 450
- [11] Hounslow M W, Maher B A. Quantitative extraction and analysis of carriers of magnetization in sediments[J]. *Geophys J Int*, 1996, 124: 57~74
- [12] Oldfield F, Yu L. The influence of particle size variations on the magnetite properties of sediments from the north-eastern Irish Sea [J]. *Sedimentology*, 1994, 41: 1 093~1 108
- [13] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 城市土壤磁化率特征及其环境意义[J]. *华南农业大学学报*, 2001, 22 (4): 26~28
- [14] 卢升高, 董瑞斌, 俞劲炎, 等. 中国东部红土的磁性及其环境意义 [J]. *地球物理学报*, 1999, 42(6): 764~771
- [15] Oldfield F. Environmental magnetism—a personal perspective [J]. *Quaternary Sci. Rev.*, 1991, 10: 73~85
- [16] Peters C, Thompson R. Magnetic identification of selected natural iron oxides and sulfides [J]. *J Magn Mater*, 1998, 183: 365~374
- [17] Maher, B.A. Magnetic properties of some sub-micro magnetite [J]. *Geophys J*, 1998, 94: 83~96
- [18] Magiera T, Strzyszcza Z. Ferrimagnetic minerals of anthropogenic origin in soils of some polish national parks [J]. *Water, Air, and Soil pollution*, 2000, 124: 37~48
- [19] Lecoanet H, Leveque F, Ambrosi J P. Combination of magnetic parameters: an efficient way to discriminate soil-contamination sources (south France) [J]. *Environmental Pollution*, 2003, 122: 229~234
- [20] 张红, 侯涛, 范文标. 晋城市大气颗粒物的电镜分析及来源鉴别[J]. *山西大学学报*, 2000, 23(2): 182~185
- [21] Vazirica D, Dongarra G, Sabatina G, et al. Inorganic geochemistry of roadway dust from the metropolitan area of Palermo, Italy[J]. *Environmental Geology*, 2003, 44: 222~230
- [22] Kapicka A, Jordanova N, Petrovsky E, et al. Magnetic study of weakly contaminated forest soils [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 2003, 148: 31~44
- [23] Kaminski M D, Landsberger S. Heavy metals in urban soils of East St. Louis, IL part 2: leaching characteristics and modeling [J]. *J Air & Waste Manage Assoc*, 2000, 50: 1 680~1 687
- [24] Muxworthy A R, Matzka J, Petersen N. Comparison of magnetic parameters of urban atmospheric particulate matter with pollution and meteorological data [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, 35: 4 379~7 386

(责任编辑 王 芷)

·读者·作者·编者·

我社接手主办《中国学术期刊文摘(中文版)》

为有利于推进我国的学术建设,并实现中国科协机关工作职能的转移,根据中国科协书记处研究决定,自 2005 年 10 月起,原由中国科协学会学术部和国家自然科学基金委计划局联合主办的《中国学术期刊文摘》,改由我社和基金委计划局联合主办。

《中国学术期刊文摘》创刊于 1994 年,是我国唯一的综合性科技文摘检索刊物,现为半月刊,每期约 300 页。该刊目前收录我国 369 种优秀科技期刊为源期刊,按照文摘标准注册格式每期登载 3 000 多条学术论

文和综述文章摘要,内容涉及自然科学、农业科学、医药科学、工程与技术科学和人文与社会科学 5 大门类,并编制有与刊物对应的数据库光盘,具备查询作者、关键词、主题、收录期刊和支持基金等多种检索功能。为与 2006 年 1 月即将创刊的《中国学术期刊文摘(英文版)》形成姊妹刊物,我社决定,自 2006 年第 1 期起,《中国学术期刊文摘》将更名为《中国学术期刊文摘(中文版)》。

(本刊编辑部)