

# 污染土壤的磁化率特征

旺 罗 刘东生 吕厚远

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029. Email: luwu@public.east.cn.net)

**摘要** 通过对现代典型的 3 种污染物和可能污染的表土以及无污染的黄土样品进行磁化率研究, 发现 3 种污染物的磁化率都大于  $500 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ , 频率磁化率小于 3%, 表明这些污染物中含相当量的强磁性物质, 但超顺磁颗粒很少. 污染表土样的频率磁化率与磁化率呈负相关, 与人工合成的污染样品具有相同的变化趋势, 而第四纪黄土的频率磁化率与磁化率呈正相关. 这些磁性特征为迅速识别污染土壤提供了简便有效的方法.

**关键词** 黄土 污染土壤 磁化率 频率磁化率

土壤的磁化率不仅与母岩的性质和土壤的类型<sup>[1, 2]</sup>有关, 而且与人类活动有密切的关系. 尤其是随着工业化程度的提高, 工业污染土壤的磁化率越来越受到人们的重视<sup>[2]</sup>. 这样的土壤随着磁化率的增加往往伴随着许多有害的重金属元素出现<sup>[3~6]</sup>, 因此土壤磁化率有可能成为识别工业污染的标志. 如果能利用简单易行的磁化率测试方法对土壤工业污染的程度进行有效的识别, 这不仅对环境监控而且对环境磁学的研究都有重要的意义. 本文通过对典型污染物、可能受污染的表土、未受污染土壤以及可能造成磁化率异常的火山母质上发育的土壤磁学性质进行了对比分析, 提出了受工业污染土壤的磁化率识别标志.

## 1 实验材料和方法

现代大气中大部分的磁性小球粒主要是由于金属冶炼、化石燃料燃烧和钢铁工业生产等人类活动造成的<sup>[2]</sup>. 因此本次实验为了解典型污染物的磁化率特征, 专门采集了 3 种具代表性的污染物进行研究. 根据粉尘动力学的研究发现, 一般小于  $30 \mu\text{m}$  的微粒在大风中可以进行长距离的搬运<sup>[7]</sup>, 因此本次实验中用小于  $30 \mu\text{m}$  的污染物微粒进行磁学性质分析. 为对比污染土壤和未污染土壤的磁化率特征, 采集了公路两旁和城区可能污染的表土样品, 一万年已埋藏的第四纪黄土地层样品, 以及火山岩母质上发育的土壤. 综合上述, 实验材料由 5 部分组成:

(1) 污染物: 首都钢铁厂钢铁灰渣  $10 \text{ g}$  ( $< 30 \mu\text{m}$ ); 汽车尾气管道内壁黑灰  $10 \text{ g}$  ( $< 30 \mu\text{m}$ ); 生活煤燃烧后煤灰  $10 \text{ g}$  ( $< 30 \mu\text{m}$ ).

(2) 可能污染的表层土(顶部  $1 \text{ cm}$  厚): 首都钢厂内外 8 个样品; 泰山登山沿途两旁 10 个; 沿北京三环和二环路路边 40 个样品; 拉萨贡嘎机场公路两旁 7 个样品.

(3) 实验室合成样品: 在无污染的黄土样品中每次掺入  $0.2 \text{ g}$  污染物( $< 30 \mu\text{m}$ ), 并测量每次掺入后样品的质量和磁化率.

(4) 火山母质土壤: 昆明( $25^\circ \text{ N}$ ,  $102^\circ \text{ E}$ )、湛江( $21.2^\circ \text{ N}$ ,  $110.3^\circ \text{ E}$ )、漳蒲( $24.1^\circ \text{ N}$ ,  $117.6^\circ \text{ E}$ )、湖光岩( $21.1^\circ \text{ N}$ ,  $110.2^\circ \text{ E}$ )和田洋( $20.6^\circ \text{ N}$ ,  $110.2^\circ \text{ E}$ ), 这些样品采自玄武岩母质上发育的、受人类活动影响较少的地区, 共 8 个样.

(5) 第四纪黄土: 采自陕西吉县黄土剖面, 共 250 个样.

所有样品用 Bartington MS2 磁化率仪进行低频( $470 \text{ Hz}$ )磁化率和高频( $4700 \text{ Hz}$ )磁化率的

测量. 频率磁化率( $c_{fd}$ )的换算式为

$$c_{fd} = (c_{lf} - c_{hf}) / c_{lf} \times 100\%$$

式中 $c_{lf}$ 为低频磁化率,  $c_{hf}$ 为高频磁化率. 磁化率的测量相对误差小于0.3%.

## 2 结果及讨论

3种污染物的低频磁化率和频率磁化率分别为: 汽车尾气 $(540.7 \pm 0.7) \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 和2.3%, 煤灰 $(5\ 267.8 \pm 8.3) \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 和0.6%, 钢铁灰渣 $(15\ 868.7 \pm 32.4) \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 和0.4%, 它们的磁化率都大于 $500 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ , 说明3种污染物中都含有相当量的磁性物质. 3种污染物的频率磁化率都小于3%, 说明3种污染物中超顺磁颗粒很少.

黄土的频率磁化率随磁化率的增高而增高(图1). 而人工合成样品的频率磁化率随磁化率的增加而减少(图2), 本次采集的可能污染的表土样品的磁性特征与合成样品的特征一致(图3), 说明这些表土样品已经被污染.

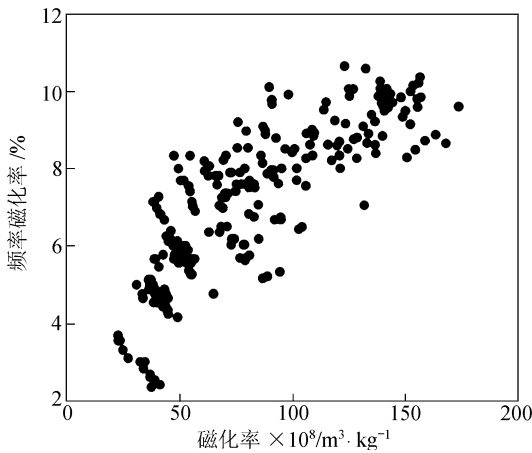


图1 黄土样的磁化率与频率磁化率关系

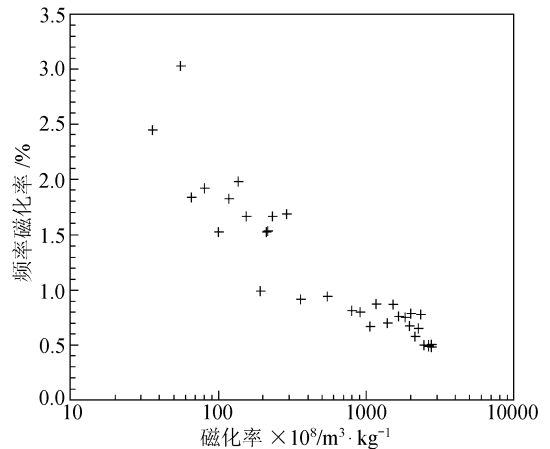


图2 人工合成样的磁化率与频率磁化率关系

根据目前黄土地区古土壤的磁化率研究发现, 土壤的磁化率随土壤发育程度增高而增高并不是无限制的, 磁化率的变化受母质中含铁矿物的演化方向和演化程度影响<sup>[8, 9]</sup>. 黄土地层中目前发现的磁化率最大值接近 $400 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ . 因此当土壤样品磁化率大于 $400 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ 时, 就应该引起我们的重视. 但是还不能直接判断样品是否被污染, 因为发育在火山岩母质上发育的土壤磁化率可以大于 $400 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ .

黄土的频率磁化率随磁化率增高而增高, 这是由于成土过程中有一定量的超顺磁颗粒产生<sup>[10, 11]</sup>. 黄土中频率磁化率为3%~12%, 并且全国的土壤频率磁化率均大于3%<sup>1)</sup>. 本次采集的火山母质土壤的低频磁化率虽然都大于 $400 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ , 但是频率磁化率却都在9%~13%之间, 远大于3%(图4). 也就是说无污染土壤的频率磁化率都大于3%. 而3种污染物、合成样品以及污染的表土样频率磁化率却都小于3%(图3). 显然这个值可以作为一个区分的参考值. 根据污染物的磁化率和频率磁化率特征不难推测, 当这些污染物沉降在土壤中, 必将使土壤的磁化率增高. 但是频率磁化率并不会增高, 甚至减小. 人工合成样品和表土样品的磁化率

1) 吕厚远. 磁化率和植物化石记录对第四纪沉积环境的古气候量化研究. 中国科学院地质研究所博士学位论文. 1998. 1~31

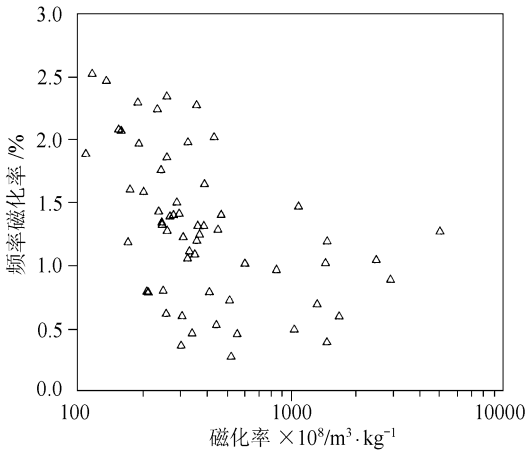


图 3 表层土样的磁化率与频率磁化率关系

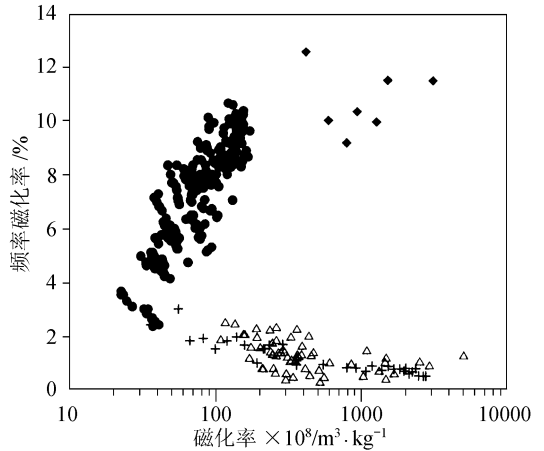


图 4 污染和未污染样的磁化率与频率磁化率关系

●为第四纪黄土样品, ◆为火山岩母质上发育的土壤样品, △为可能污染的表层土样品, +为人工合成样品

测试结果证明了这一点. 并且当磁化率增高到一定的程度, 频率磁化率便趋向于污染物本身的频率磁化率值(图 3).

所有的样品在频率磁化率和磁化率的关系图中分别分布在两个区域中(图 4), 它们的磁化率与频率磁化率的相关关系也完全相反. 根据分布特征和变化趋势, 可以划分出一个区域, 即磁化率大于  $100 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$  和频率磁化率小于 3%. 分布在这个区域的样品基本可以判定已被污染. 另外可以进一步粗略地分析土壤的污染程度, 即在污染的区域中, 频率磁化率越低, 磁化率越高, 表明样品的污染程度越高.

表土样品并没有分布在一个集中的趋势线上(图 4), 这可能有两种原因, 一种是不同污染物中超顺磁颗粒含量不同; 另一种是发育程度不同的表土中超顺磁颗粒含量不同.

### 3 结论

以上结果表明, 污染土壤和无污染土壤具有明显不同的磁化率特征, 并且说明磁化率和频率磁化率测试手段是识别土壤污染的简便有效方法, 为监测土壤是否被污染以及污染的程度提供了一种简单易行的手段.

致谢 感谢顾兆炎和朱日祥研究员建设性的意见, 并在百忙中对本文初稿提出修改意见. 本工作为国家自然科学基金“九五”重大(批准号: 49894170-04)及国家重点基础研究发展规划(批准号: G1998040800)资助项目.

### 参 考 文 献

- 1 Singer M J, Fine P. Pedogenic factors affecting magnetic susceptibility of northern California soils. *Soil Sci Soc Am J*, 1989, 53: 1119~1127
- 2 Thompson R, Oldfield E. *Environmental magnetism*. London: Allen and Unwin, 1986. 1~227
- 3 Theis T L, Wirth J L. Sorptive behaviour of trace metals on fly ash in aqueous systems. *Environ Sci Technol*, 1977, 11: 1095~1100
- 4 Hansen L D, Silberman D, Fisher G L. Crystalline components of stack-collected size-fractionated coal fly ash. *Environ Sci*

- Technol, 1981, 15: 1057~1062
- 5 Hunt A, Jones J, Oldfield F. Magnetic measurements and heavy metals in atmospheric particulates of anthropogenic origin. *The Science of the Total Environment*, 1984, 13: 129~130
  - 6 Linton R W, Natusch K N S, Solomon R L, et al. Physicochemical characterization of lead in urban dusts——A microanalytical approach to lead tracing. *Environ Sci Technol*, 1980, 14: 159~164
  - 7 Pye K, Tsoar H. The mechanics and geological implications of dust transport and deposition in deserts with particular reference to loess formation and dune sand diagnosis in northern Negev, Israel. *Geological Society Special Publication*, 1987, 35: 139~156
  - 8 吕厚远, 韩家懋, 吴乃琴, 等. 中国现代土壤磁化率分析及其古气候意义. *中国科学, B辑*, 1994, 24(12): 1290~1297
  - 9 顾兆炎, 韩家懋, 刘东生. 中国第四纪黄土地球化学研究进展. *第四纪研究*, 2000, 20(1): 41~55
  - 10 Maher B A. Characterization of soils by mineral measurements. *Phys Earth Planet Inter*, 1986, 42: 76~92
  - 11 Zhou L P, Oldfield F, Wintle A G, et al. Partly pedogenic origin of magnetic variations in Chinese loess. *Nature*, 1990, 346: 737~739

(1999-12-14 收稿, 2000-03-09 收修改稿)