

西北地区河谷城市大气降尘环境磁学特征及其环境意义

田世丽¹, 夏敦胜^{1,2}, 余晔¹, 王博², 王丽¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 2. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 兰州 730000)

摘要:应用环境磁学方法对西北地区重点污染城市兰州和清洁对照点黄花滩两地大气降尘的磁学特征进行对比研究, 分析了大气降尘磁性矿物含量、类型和颗粒大小等磁学性质及其对城市大气污染的指示意义. 结果表明, 兰州市大气污染较为严重, 大气降尘中磁性矿物含量明显高于黄花滩, 且呈现冬季明显高于其他季节的变化趋势. 两地降尘样品磁学特征均受磁铁矿控制, 并含有一定数量的磁赤铁矿和赤铁矿, 磁性矿物为准单畴和多畴颗粒. 大气降尘磁性矿物含量的年际变化表明, 随着各种污染防治措施的实施, 兰州市大气污染总体上呈现逐年减轻的变化趋势, 并得到很好的稳定和控制. 通过与其他城市大气降尘磁学特征的比较分析可知, 兰州市大气污染明显受到市区地形的影响. 随着磁学机制和应用研究的不断深入, 环境磁学方法逐渐成为监测和评价大气污染水平、判断污染物来源的重要手段.

关键词:大气降尘; 环境磁学; 大气污染; 西北地区; 河谷城市

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)09-2761-08

Magnetic Property of Dustfall in a Northwest China Valley City and Its Environmental Implications

TIAN Shi-li¹, XIA Dun-sheng^{1,2}, YU Ye¹, WANG Bo², WANG Li¹

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. Key Laboratory of Western China's Environmental System (Ministry of Education), Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Lanzhou is one of the seriously polluted cities in Northwest China. Dustfall samples collected in Lanzhou and the countryside Huanghuatan were studied using magnetic methods. The results reveal that the content of magnetic mineral in dustfall samples from Lanzhou is much higher than that of Huanghuatan. At the same time, it has a much higher lever in winter than that of other seasons. The main magnetic minerals in the dustfall from both places are magnetite, maghemite and hematite, and the main magnetic grain sizes in dustfall samples are mainly pseudo single-domain (PSD) and multi-domain (MD). Although the air in Lanzhou is polluted seriously, the air quality has been improved greatly during the past decades and controlled well in recent years. Compared with other cities, air pollution in Lanzhou is affected significantly by urban terrain. This research also reveals that environmental magnetism has become a more and more important method in air pollution study.

Key words: dustfall; environmental magnetism; air pollution; Northwest China; valley city

大气降尘是指大气中因重力和雨水的冲刷作用, 在较短时间内沉降到地面的大气颗粒物(粒径 $> 10 \mu\text{m}$)^[1]. 大气降尘污染不仅能够直接危害人体健康^[2], 影响环境质量^[3,4], 还可以通过土壤、水体等介质对人体健康和生态环境造成间接的影响和破坏, 并且可能通过化学作用产生严重的二次污染, 因此研究大气降尘的特性及其变化规律具有很高的必要性和重要性^[5,6]. 国内外众多学者就大气颗粒污染物化学元素浓度和来源解析等方面开展了广泛研究, 取得了很多值得借鉴的成果^[5, 7-13]. 随着研究的深入, 新的研究方法逐步引入, 环境磁学方法以其简捷、经济、快速、灵敏度高、重复性好和无破坏性等特点^[14], 成为化学方法之外又一极具潜力的污染研究方法, 已成功应用于城市污染监测评价和来源

判别等诸多方面^[15-22]. 国外对大气降尘的环境磁学研究比较重视, 取得了很多值得借鉴的成果, 主要集中在磁学参数与污染物的相关性研究和源解析等方面^[20-22]. 目前我国这方面的工作开展的还比较少, 对大气降尘磁学性质的污染指示作用研究还处于起步阶段.

兰州是西北地区乃至全国大气污染防治的重点城市, 大气颗粒物污染尤为严重, 因此对其降尘污染物的研究更具代表性和现实意义^[11]. 本研究选取兰州市和清洁对照点古浪县黄花滩大气降尘样品作为

收稿日期: 2010-12-01; 修订日期: 2011-01-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071125); 中国科学院“百人计划”项目(0827631002)

作者简介: 田世丽(1986~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为城市污染与环境磁学, E-mail: shilitian2009@163.com

调查对象,进行系统的环境磁学分析.对降尘磁性矿物含量、种类、颗粒大小和变化规律等的研究,以期阐明该地区大气污染状况,判断污染物来源提供依据,同时对于大气质量评价、大气污染防治和大气环境的改善也具有非常重要的意义.

1 材料与方 法

1.1 样品采集

兰州市位于中国陆域几何中心,是以石油、化工、有色金属、机械、电力为主的工业城市.全市面积约13 000 km²,人口近 300 万.兰州市地处黄土高原、内蒙古高原和青藏高原的交汇处,大陆性季风气候明显,降水少,气候干燥,年平均降水量在 250 ~ 350 mm,并集中分布在 6 ~ 9 月,年平均气温 9.1℃.兰州城区处于狭长的河谷盆地,特殊的地形条件、气象条件加之不尽合理的工业布局使其面临十分严峻的城市污染问题.古浪县位于兰州市西北部,距兰州市约 220 km,面积 5 287 km²,人口 39.8 万人,其中农业人口 37.58 万人.气候属于祁连山高寒亚干旱区和河西冷温干旱区,年均气温 4.9℃,年降水量从南部山区到北部沙漠由 >400 mm 减少到 <175 mm.

在甘肃省兰州市兰州大学(LZ)和古浪县黄花滩乡黄花滩村(HHT),分别设置大气降尘收集点,各采样点均距地面 4 m 以上,可以排除地面灰尘的干扰,附近均没有高大建筑物,且不受局部污染源影响.采用人工设计柱形采样器,高 70 cm,直径 35 cm,位置固定不变.采样时间以月或双月为单位,用毛刷进行降尘样品收集,并置于塑料样品袋中密封保存.

1.2 实验方法

样品经过晾干、过筛和称重后,用塑料薄膜包裹,装入 8 cm³ 磁学专用样品盒并压实.对所有样品进行低频磁化率(χ_{lf})高频磁化率(χ_{hf})、无磁滞剩磁(ARM)、等温剩磁(IRM)、饱和等温剩磁(SIRM)的系统测定,选择部分代表样品进行热磁曲线(T-M 曲线)和磁滞回线的测定. χ_{lf} 和 χ_{hf} 使用 Bartington 公司生产的 MS2 型磁化率仪测定,计算频率磁化率 $\chi_{fd}\% = (\chi_{lf} - \chi_{hf}) / \chi_{lf} \times 100$. ARM 用交变退磁仪(AF demagnetizer)和 Molspin Minispin 小旋转磁力仪测量,并计算无磁滞剩磁磁化率(χ_{ARM}). IRM、SIRM 用 MMPM10 强磁仪和 Molspin Minispin 旋转磁力仪测量,反向磁场包括 -20、-100和 -300 mT,样品在反向磁场中磁化后所携带

IRM 与 SIRM 的比值依次表示为 S_{-20} , S_{-100} 和 S_{-300} ,并根据 $SOFT = [(SIRM - IRM_{-20mT}) / 2] / mass$ 和 $HIRM = [(SIRM + IRM_{-300mT}) / 2] / mass$ (式中 mass 代表质量)分别计算软磁(SOFT)和硬磁(HIRM)含量,并用 HARD% 表示硬磁百分含量.热磁曲线和磁滞回线使用 VFTB(variables field transition balance)可变磁场磁天平测量仪进行测定.以上实验均在兰州大学西部环境教育部重点实验室完成.

2 结果与分析

2.1 基本磁学参数变化特征

磁化率是反映样品中磁性矿物含量的重要参数^[14], LZ 和 HHT 这 2 个研究地区 χ_{lf} 变化范围分别为 $255.57 \times 10^{-8} \sim 985.73 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $37.82 \times 10^{-8} \sim 60.00 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均值依次为 $470.80 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $49.79 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. LZ 的 χ_{lf} 值总体偏高(表 1、图 1),表明大气降尘中磁性矿物含量较高;HHT 的 χ_{lf} 值处在较低的水平(表 1、图 1),指示了大气降尘中磁性矿物含量较低.在研究期内,两地 χ_{lf} 值均呈现出明显的季节变化,从 10 ~ 11 月开始 χ_{lf} 突然上升,在整个冬季期间都稳定在较高数值水平,从 2 ~ 3 月开始又突然下降,并基本稳定在较低数值内直至 10 月. HHT 的 χ_{lf} 值高值期是低值期 1.5 倍左右,而 LZ 地区此值达到 2 ~ 3 倍,表明 LZ 地区磁性矿物含量的季节变化更加明显.样品的 $\chi_{fd}\%$ 反映其超顺磁颗粒含量变化^[14], LZ、HHT 两地样品 $\chi_{fd}\%$ 的平均值分别为 1.57% 和 2.48%,且均未出现 $\chi_{fd}\% > 5\%$ 的样品^[23],指示两地样品中超顺磁颗粒的含量较低.

SIRM、 χ_{ARM} 、SOFT 和 HIRM 等参数主要与样品中不同种类、不同粒度水平磁性矿物的含量有关^[24].其中 SIRM 由于不受顺磁性和逆磁性矿物的影响,主要指示来自亚铁磁性矿物和不完全反铁磁性矿物的贡献^[14]; χ_{ARM} 反映稳定单畴(SSD)和细粒级准单畴(PSD)亚铁磁性矿物含量^[25,26]; SOFT 基本不受不完全反铁磁性矿物的影响,用来指示低矫顽力亚铁磁性矿物,尤其是多畴(MD)和 PSD 磁性颗粒的含量^[26]; HIRM 及其与 SIRM 的比值 HARD% 通常反映不完全反铁磁性矿物的含量与相对贡献.从表 1 可知, LZ、HHT 这 2 个研究地区 SIRM 的平均值分别为 $6595.93 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $593.09 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$; χ_{ARM} 平均值依次为 $816.99 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $96.16 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$; SOFT 的平均值分别为 $2328.08 \times 10^{-5} \text{ Am}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $182.80 \times$

表 1 大气降尘样品环境磁学基本参数
Table 1 Magnetic parameters of dustfall in Lanzhou and Huanghuatan

项目	LZ		HHT	
	范围	平均值	范围	平均值
$\chi_{lf} \times 10^{-8}/m^3 \cdot kg^{-1}$	255.57 ~ 985.73	470.8	37.82 ~ 65.31	49.79
$\chi_{fd} \%$	0.83 ~ 2.41	1.57	0.48 ~ 3.33	2.48
$\chi_{ARM} \times 10^{-8}/m^3 \cdot kg^{-1}$	408.47 ~ 1 728.48	816.99	60.10 ~ 142.88	96.16
$SIRM \times 10^{-5}/Am^2 \cdot kg^{-1}$	3 450.98 ~ 13 460.99	6 595.9	428.77 ~ 872.78	593.09
$HRIM \times 10^{-5}/Am^2 \cdot kg^{-1}$	99.54 ~ 360.56	167.45	31.19 ~ 50.72	36.93
$SOFT \times 10^{-5}/Am^2 \cdot kg^{-1}$	1 117.79 ~ 5 383.83	2 328.1	127.53 ~ 292.04	182.8
HARD%/%	4.11 ~ 10.03	6.91	13.10 ~ 19.65	17.22
$\chi_{ARM}/SIRM \times 10^{-3}/mA^{-1}$	0.11 ~ 0.13	0.12	0.14 ~ 0.18	0.16
$SIRM/\chi_{lf} \times 10^3/mA^{-1}$	12.02 ~ 16.18	14.01	11.14 ~ 13.36	11.85
χ_{ARM}/χ_{lf}	1.49 ~ 2.12	1.72	1.55 ~ 2.26	1.91
S_{-20}	0.20 ~ 0.35	0.31	0.32 ~ 0.45	0.39
S_{-100}	0.70 ~ 0.81	0.76	0.46 ~ 0.60	0.54
S_{-300}	0.92 ~ 0.97	0.95	0.85 ~ 0.90	0.87

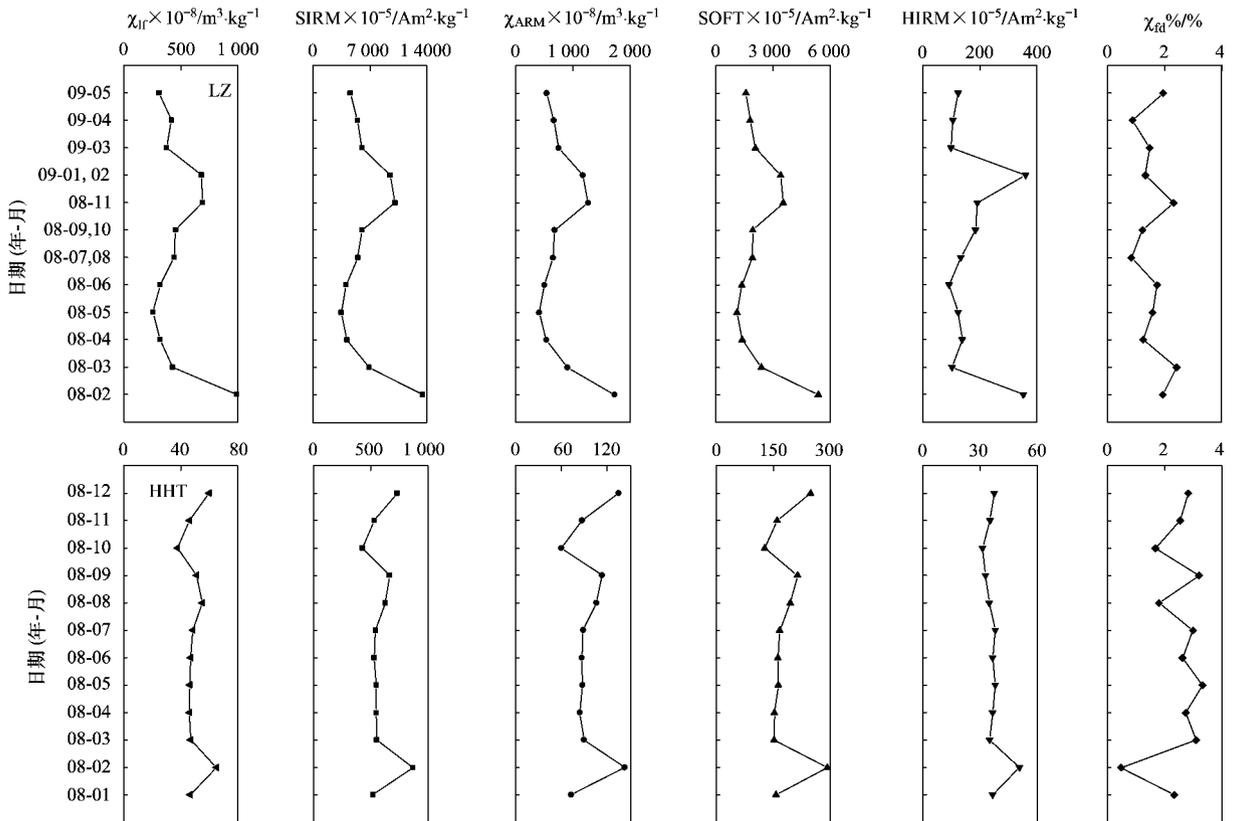


图 1 大气降尘环境磁学参数变化

Fig. 1 Variation of magnetic parameters

$10^{-5} Am^2 \cdot kg^{-1}$; HIRM 的平均值依次为 $167.45 \times 10^{-5} Am^2 \cdot kg^{-1}$ 、 $36.93 \times 10^{-5} Am^2 \cdot kg^{-1}$ 。与 χ_{lf} 值相同, LZ 地区的 SIRM、 χ_{ARM} 、SOFT 和 HIRM 值均明显高于 HHT 地区, 指示相应种类和粒级磁性矿物的

含量较高。在季节变化上, SIRM、 χ_{ARM} 和 SOFT 同样存在冬季月份明显高于其他月份的变化趋势, 并且 LZ 地区的季节变化更加明显。

2.2 热磁曲线

热磁曲线是磁性矿物在加热和冷却过程中饱和磁化强度随温度变化的曲线,由于饱和磁化强度与晶体大小、形状和内应力等变量无关,因此可以利用热磁曲线来识别磁性矿物种类^[14]. 两地典型降尘样品的热磁曲线如图 2 所示,绝大多数降尘样品的热磁曲线相似[图 2(b)和 2(c)],在样品的加热曲线中可见到 300~450℃ 区间的下凹特征,通常反映了磁赤铁矿受热不稳定转化为弱磁性的赤铁矿,在 450℃ 后磁化强度明显增大,热磁曲线在 500℃ 附近形成峰值,随后在 500~580℃ 附近迅速下降,并在 580℃ 附近降低到 0,表明样品的高温磁学性质受磁铁矿控制. 450~500℃ 之间磁化强度的升高主要是由含铁硅酸盐矿物或黏土矿物在高温下分解形成铁

磁性矿物形成的. 冷却到室温后的磁化强度要高于加热前的初始值,说明加热过程生成了强磁性矿物. 对比 LZ、HHT 两地冬季降尘的热磁曲线[图 2(a)和 2(c)],LZ 冬季降尘的热磁曲线比较简单,表明磁性矿物种类比较单一或者由于某种磁性矿物的含量占绝对优势而掩盖了其他种类磁性矿物的热磁特性. 经过加热冷却,HHT 冬季降尘磁化强度增加倍数明显高于 LZ 冬季降尘,指示其加热过程中有更多强磁性矿物形成. HHT 春季降尘[图 2(d)],曲线在 500~580℃ 附近迅速下降,并在 580℃ 附近接近于 0,曲线的变化特征与磁铁矿较为一致,表明样品的高温磁学性质受磁铁矿控制,并且冷却曲线在加热曲线下方,是典型的黄土热磁曲线.

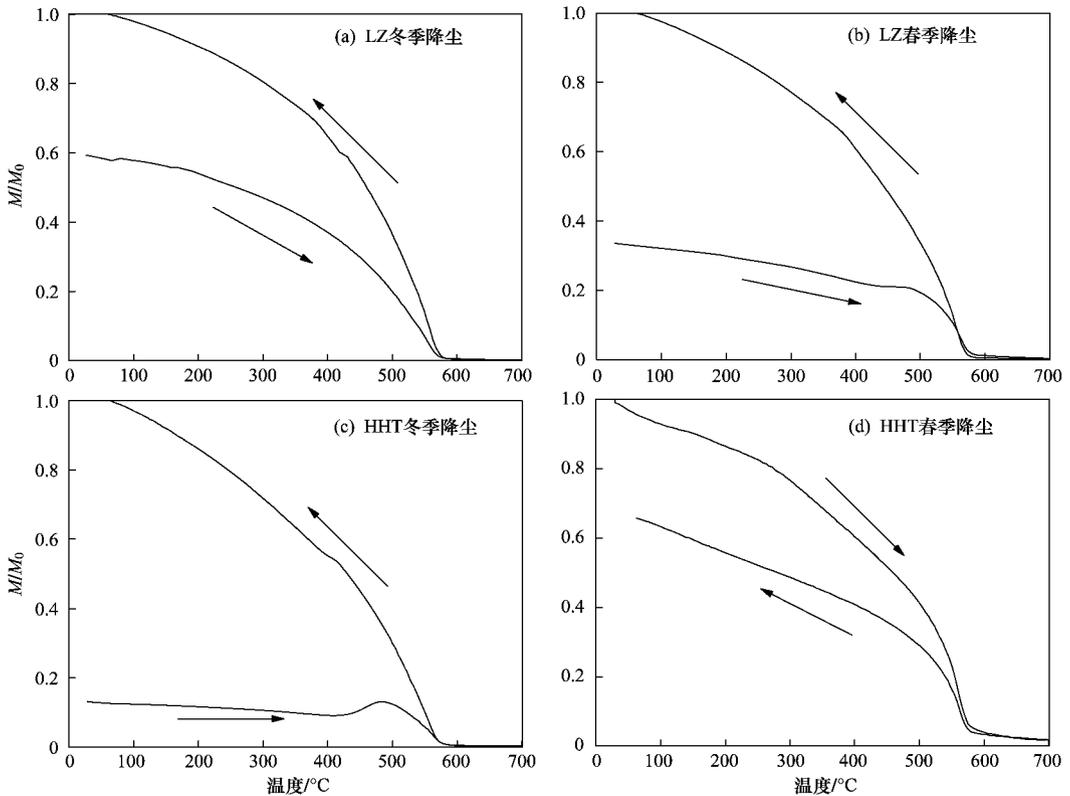


图 2 大气降尘样品热磁曲线

Fig. 2 Thermomagnetic curves of dustfall in Lanzhou and Huanghuatan

2.3 磁滞回线

对于铁磁性物质,当外加磁场大于某一临界值(居里点)时,去掉外加磁场后磁化强度不再像经过弱磁场磁化后那样简单地作可逆变化,而是随着外加磁场的消失磁化强度的变化滞后于磁场的变化,这种现象被称为磁滞现象. 通过改变外加磁场强度可以获得样品的磁滞回线以及常用的磁滞参数,磁滞回线经常被用来指示磁性矿

物的种类^[14]. 两地典型降尘样品的磁滞回线如图 3 所示,LZ 地区降尘样品的磁滞回线均在 300 mT 左右开始闭合狭窄并接近饱和状态,表明样品中存在较多低矫顽力亚铁磁性矿物. HHT 地区降尘样品的磁滞回线均在 300 mT 左右开始闭合狭窄但未达到饱和状态,表明样品中存在较多低矫顽力亚铁磁性矿物磁铁矿和顺磁性矿物的混合物.

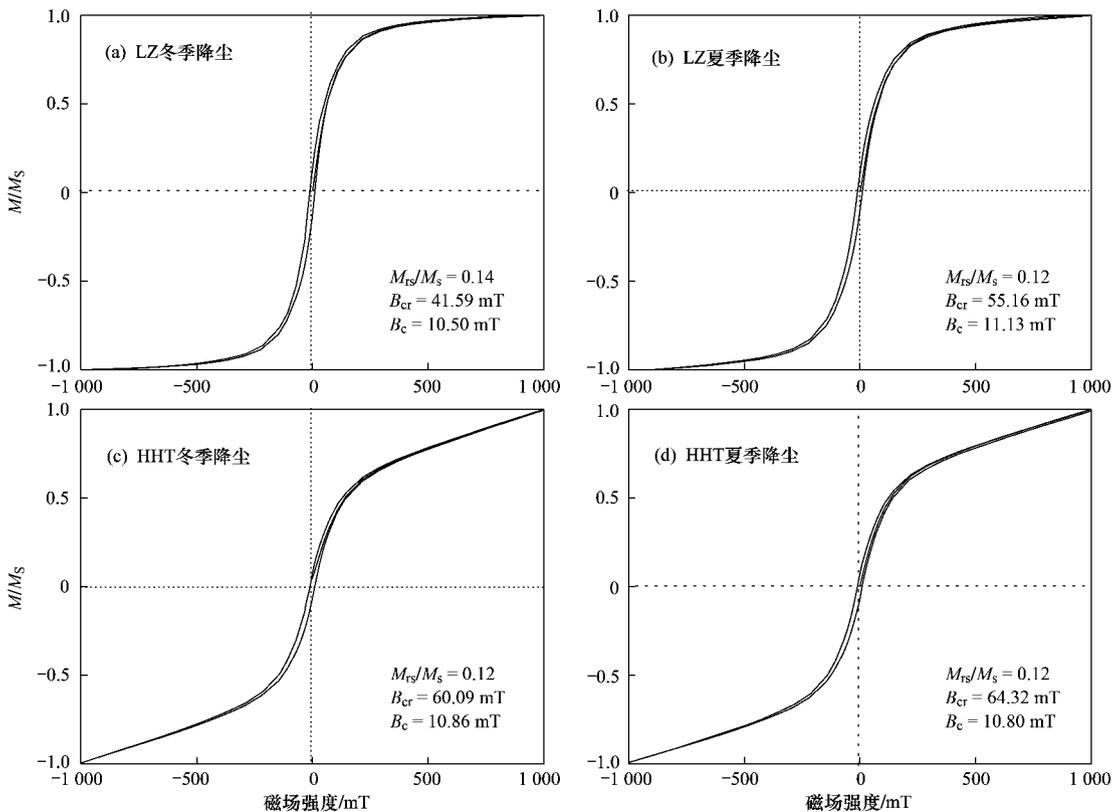


图3 大气降尘样品磁滞回线

Fig. 3 Magnetic hysteresis loops of dustfall in Lanzhou and Huanghuatan

3 讨论

3.1 大气降尘磁性矿物种类和颗粒大小

如前所述, χ_{lf} 、SIRM、 χ_{ARM} 、SOFT 和 HIRM 等参数主要指示样品中磁性矿物的含量, 而 $\chi_{fd}\%$ 、 $\chi_{ARM}/SIRM$ 、 $SIRM/\chi_{lf}$ 、 χ_{ARM}/χ_{lf} 、HARD%、 S_{-20} 、 S_{-100} 和 S_{-300} 则与样品中磁性矿物的种类和粒级有关^[14, 27]。

SIRM 与 χ_{lf} 散点分布图(图4)可以指示磁性矿物类型的变化, 当样品中只有一种磁性矿物含量占绝对优势, 即使磁性矿物颗粒大小存在差异, SIRM 与 χ_{lf} 散点分布图也将呈一条直线^[28]。降尘样品 SIRM 与 χ_{lf} 极显著线性相关 ($R_{LZ} = 0.98613$, $R_{HHT} = 0.9686$), 表明样品磁学性质主要受亚铁磁性矿物和不完全反铁磁性矿物的控制且样品中只有一种磁性矿物的含量占绝对优势。直线的斜率 $SIRM/\chi_{lf}$ 也可以反映磁性矿物的类型, 磁铁矿 $SIRM/\chi_{lf}$ 值约为 $1.5 \sim 50 \text{ kAm}^{-1}$, 赤铁矿 $SIRM/\chi_{lf}$ 值 $> 200 \text{ kAm}^{-1}$, 磁黄铁矿也具有较高的 $SIRM/\chi_{lf}$ 比值^[29, 30]。两地降尘样品的 $SIRM/\chi_{lf}$ 值均处在 $1.5 \sim 50 \text{ kAm}^{-1}$ 范围内(见表1), 表明样品中磁铁矿的含量占绝对优势。

SOFT 主要反映样品中较粗的、低矫顽力亚铁磁性矿物的含量, 降尘样品的 SIRM 与 SOFT 呈显著正相关 ($R_{LZ} = 0.99522$, $R_{HHT} = 0.99694$), 指示样品中含有大量的较粗的、低矫顽力亚铁磁性矿物磁铁矿。 S_{-300} 指示了低矫顽力软剩磁物质的相对含量, 可以用来评价亚铁磁性矿物和反铁磁性矿物的相对重要性, S_{-300} 值随亚铁磁性矿物的相对重要性上升而增加^[31]。LZ 和 HHT 两地 S_{-300} 的平均值分别为 0.95 和 0.87, 在磁场强度 -300 mT 状态下, 降尘样品获得的等温剩磁已经达到饱和值的 87%, 表明磁铁矿和磁赤铁矿等低矫顽力软剩磁物质是样品剩磁的主要载体, 样品在 -300 mT 没有达到饱和, 意味着赤铁矿等高矫顽力的磁性矿物对剩余磁性也有贡献。热磁曲线和磁滞回线结果也同时说明大气降尘中所含磁性矿物主要为磁铁矿, 并含有磁赤铁矿。

磁性矿物颗粒大小常用 Dearing 图来判别^[32], 如图5所示, 通过对比 $\chi_{fd}\%$ 和 $\chi_{ARM}/SIRM$, 两地降尘样品落入 PSD 和 MD 范围, 且 SP 颗粒的含量较低, 表明两地降尘样品中磁性矿物的粒度较粗, 为准单畴和多畴颗粒。如前所述, LZ、HHT 两地样品 $\chi_{fd}\%$ 的数值偏低, 指示两地降尘样品中超顺磁颗粒

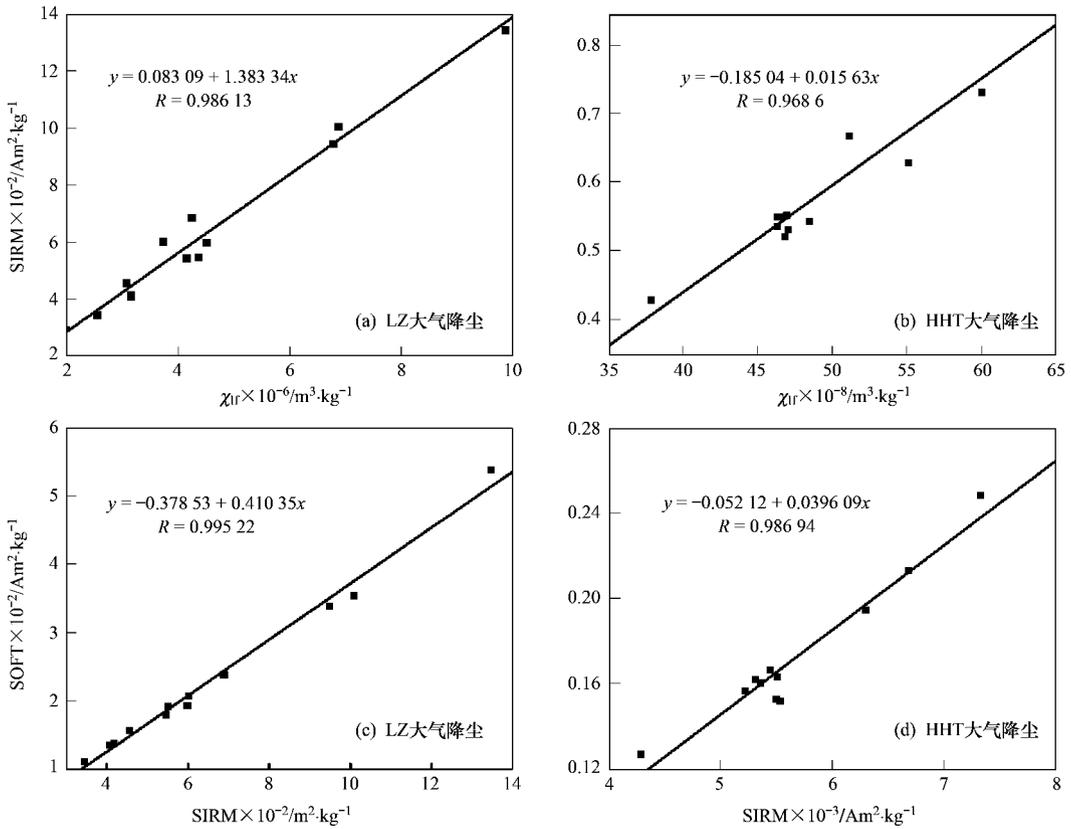


图 4 大气降尘样品磁学参数散点图

Fig. 4 Scatter plots of magnetic parameters of dustfall in Lanzhou and Huanghuatan

的含量较低。

由于超顺磁性颗粒对常温下的剩磁没有贡献，但对 χ_{ir} 起相当大的作用，因此，低的 $SIRM/\chi_{ir}$ 值表示了高浓度的超顺磁性颗粒的存在。磁性比值参数 χ_{ARM}/χ_{ir} 也是指示磁性矿物颗粒大小的指标， χ_{ARM}/χ_{ir} 高值指示样品中细粒磁性矿物的相对含量较高。与 LZ 地区相比，HHT 地区降尘样品的 $SIRM/\chi_{ir}$ 值较低， χ_{ARM}/χ_{ir} 值较高，指示 HHT 地区降尘样品中细粒磁性矿物的浓度相对较高。Dearing 图中，HHT 降尘样品均落在 LZ 降尘样品右方，也进一步表明 HHT 降尘样品的磁性矿物颗粒相对较细。

3.2 大气降尘磁学特征的时间变化

两地均存在冬季磁性矿物含量明显高于其他季节的变化特征，相应磁学参数高值与采暖期存在很好的对应关系。这一特点主要与冬季燃煤取暖，大量的粉尘颗粒物被排放到大气中有关。与黄花滩相比，兰州市的磁性矿物含量高且季节变化更加明显。分析其原因，一方面城市聚集度高，冬季取暖燃煤量大，向大气中排放大量粉尘颗粒物导致磁性矿物含量急剧升高。燃煤形成的粉尘颗粒物中磁性矿物含

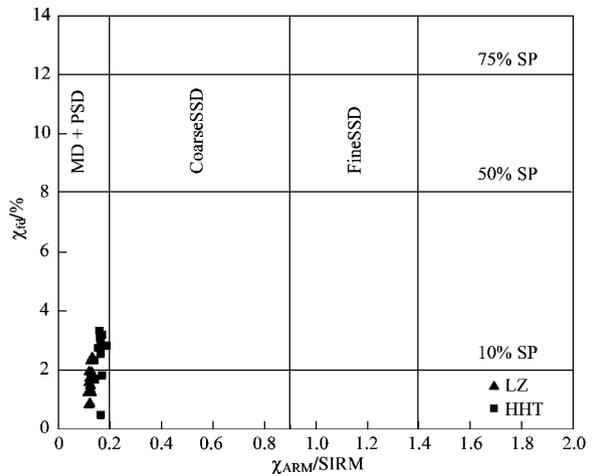


图 5 大气降尘样品 Dearing 图

Fig. 5 Dearing plot of dustfall in Lanzhou and Huanghuatan

量较高，是大气污染非常重要的来源。另一方面，兰州市特殊的地理和气象条件，使其冬季极易形成逆温层，造成污染颗粒物扩散困难也是兰州市磁性矿物含量冬季明显高于其他季节的重要原因。

结合之前的研究结果进行对比分析^[33]，兰州

市存在磁性矿物含量逐年降低的年际变化规律. 并在近几年维持在比较稳定的水平(见表 2). 表明尽管污染严重,但随着大气治理措施的实施,兰州市的空气质量在逐渐好转,并得到很好的稳定和控制. 兰州市由于特殊的地理和气象条件以及交通和工业布局,冬季大气污染一直是改善城市

大气环境面临的最为严峻的问题. 从不同季节角度分析,冬季这种磁性矿物含量逐年降低并趋于稳定的趋势比较明显,而其他季节变化不大. 由此表明,近几年来所采取的一系列大气污染防治措施,对于改善冬季城市大气环境起到了很好的缓解和控制作用.

表 2 兰州市不同年份大气降尘样品磁化率统计

Table 2 χ_{if} of dustfall in different years

项目	时间(年-月)				
	1997-06 ~ 1998-06	1998-06 ~ 1999-05	1999-06 ~ 2000-05	2004-12 ~ 2005-11	2008-02 ~ 2009-05
最大值	1 149. 93	1 051. 71	807. 37	747. 5	985. 73
最小值	239	124. 09	209. 61	222	255. 57
平均值	596. 09	642. 81	481. 85	449. 95	470. 8

3.3 大气降尘磁学特征空间对比

兰州市降尘样品反映磁性矿物含量的磁学参数数值明显高于本区表土^[34],表明人为活动对降尘的磁学特征有明显影响. 黄花滩降尘样品的相应磁学参数与本区表土接近^[34],可以视为自然背景值,作为对照点. 进一步对比两地降尘样品磁性矿物含量,各季节兰州市大气降尘磁性矿物含量均明显高于黄花滩,表明兰州市大气污染严重,与前人研究结果一致^[17]. 由此推断,城市聚集度高,工业发达,交通密集,形成的磁性矿物数量多,对降尘磁学特征的影响较大.

热磁曲线的分析结果表明,与黄花滩以及其他季节样品相比,兰州市冬季降尘样品中磁性矿物种类较为单一,高温磁学特征主要被磁铁矿控制,随着人为源影响的加重,多种磁性矿物的磁学特征逐渐被磁铁矿掩盖;另外,磁性矿物颗粒大小的分析表明,以人为源为主的兰州市大气降尘中磁性矿物的颗粒度相对较粗,由此推断,大气降尘中人为源输入的磁性矿物主要以粗颗粒磁铁矿为主.

与同位于干旱区的乌鲁木齐市大气降尘磁学特征的研究结果对比^[35],兰州市降尘样品反映磁性矿物含量的磁学参数值略高于乌鲁木齐市,表明兰州市的大气降尘污染相对较严重. 从季节变化来看,兰州市深秋和冬季大气降尘磁性矿物含量明显高于乌鲁木齐市,其他季节两城市大气降尘磁性矿物浓度并无显著差异(见表 3). 从地形条件来看,兰州市地处狭长的峡谷地带,乌鲁木齐市东、西、南三面环山,北面为倾斜平原,前者更易在冬季形成频率高、强度大、持续时间长的逆温层,不利于污染物的扩散. 其次,兰州市人口密度高,汽车尾气排放量和冬季燃煤取暖量大,也可能是造成兰州市大气污染相

对严重的重要原因. 此外,在产业结构方面,兰州市是以石油、化工、有色金属、机械、电力为主的工业城市,而乌鲁木齐市第三产业较为发达,在 GDP 中所占的比重为 61.5%,工业污染负荷高可能是兰州市大气污染相对严重的另一原因.

表 3 兰州和乌鲁木齐各季节大气降尘磁化率统计

Table 3 χ_{if} of dustfall in Lanzhou and Urumqi

地区	春季	夏季	秋季	冬季
兰州	348. 841 9	376. 744 3	569. 25	832. 302 8
乌鲁木齐	391. 855 2	309. 892 4	329. 766 7	639. 224 4

4 结论

(1) 兰州市降尘样品的磁性矿物含量明显高于黄花滩,且呈现冬季明显高于其他季节的变化趋势,两地降尘样品磁学特征均受磁铁矿控制,并含有一定数量的磁赤铁矿和赤铁矿,磁性矿物为准单畴和多畴颗粒,兰州市降尘样品颗粒相对较粗.

(2) 兰州市大气污染较严重,但随着各种污染防治措施的实施,兰州市大气污染总体上呈现逐年减轻的变化趋势,并得到很好的稳定和控制.

(3) 与其他城市比较,兰州市大气污染明显受到市区地形的影响. 除采取相应措施减少污染物的排放,依据地形条件进行合理的交通和工业布局以及积极调整产业结构也是兰州市防治大气污染的重要措施之一.

参考文献:

- [1] 奚旦立,孙裕生,刘秀英. 环境监测[M]. (第三版). 北京:高等教育出版社,2002.
- [2] 谢姝妹. 大气颗粒物对人体健康影响的研究进展[J]. 铁道劳动安全卫生与环保,2006,33(4):205-208.
- [3] 邱玉娟,邹学勇,张春来. 沙尘天气发生频率对大气能见度方

- 差的影响研究:以北京及其沙尘过往路径典型站点为例[J]. 环境科学,2006,27(6):1046-1051.
- [4] 张武平. 沙尘暴对甘肃大气环境质量的影响[J]. 甘肃科技,2010,26(2):67-70.
- [5] Stone E, Schauer J, Quraishi T A, *et al.* Chemical characterization and source apportionment of fine and coarse particulate matter in Lahore, Pakistan [J]. Atmospheric Environment,2010,44(8):1062-1070.
- [6] 韩力慧,庄国顺,程水源,等. 北京地面扬尘的理化特性及其对大气颗粒物污染的影响[J]. 环境科学,2009,30(1):1-8.
- [7] Karanasiou A A, Siskos P A, Eleftheriadis K. Assessment of source apportionment by Positive Matrix Factorization analysis on fine and coarse urban aerosol size fractions [J]. Atmospheric Environment,2009,43(21):3385-3395.
- [8] Song F, Gao Y. Chemical characteristics of precipitation at metropolitan Newark in the US East Coast [J]. Atmospheric Environment,2009,43(32):4903-4913.
- [9] Sakihama H, Ishiki M, Tokuyama A. Chemical characteristics of precipitation in Okinawa Island, Japan [J]. Atmospheric Environment,2008,42(10):2320-2335.
- [10] 陈圆圆,孙小静,王军,等. 上海市宝山区大气降尘污染时空变化特征[J]. 环境化学,2009,28(6):859-863.
- [11] 杨丽萍,陈发虎. 兰州市大气降尘污染源研究[J]. 环境科学学报,2002,22(4):499-502.
- [12] 潘月鹏,王跃思,杨勇杰,等. 区域大气颗粒物干沉降采集及金属元素分析方法[J]. 环境科学,2010,31(3):553-559.
- [13] 田刚,樊守彬,黄玉虎,等. 风速对人为扬尘源PM₁₀排放浓度和强度的影响[J]. 环境科学,2008,29(10):2983-2986.
- [14] Thompson R, Oldfield F. Environmental Magnetism [M]. Lontn: Allen Unwin,1986.
- [15] 夏敦胜,余晔,马剑英,等. 兰州市街道尘埃磁学特征及其环境意义[J]. 环境科学,2007,28(5):937-944.
- [16] 王博,夏敦胜,余晔,等. 兰州市城区河道表层沉积物磁性特征研究[J]. 环境科学,2010,31(8):1740-1748.
- [17] Xia D S, Chen F H, Bloemendal J, *et al.* Magnetic properties of urban dustfall in Lanzhou, China, and its environmental implications[J]. Atmospheric Environment,2008,42(9):2198-2207.
- [18] Shu J, Dearing J A, Morse A P, *et al.* Determining the sources of atmospheric particles in Shanghai, China, from magnetic and geochemical properties [J]. Atmospheric Environment,2001,35(15):2615-2625.
- [19] Yang T, Liu Q, Li H, *et al.* Anthropogenic magnetic particles and heavy metals in the road dust: Magnetic identification and its implications[J]. Atmospheric Environment,2010,44(9):1175-1185.
- [20] Gautam P, Blaha U, Appel E. Magnetic susceptibility of dust-loaded leaves as a proxy of traffic-related heavy metal pollution in Kathmandu city, Nepal[J]. Atmospheric Environment,2005,39(12):2201-2211.
- [21] Maher B A, Moore C, Matzka J. Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves [J]. Atmospheric Environment,2008,42(2):364-373.
- [22] 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(26):4379-4386.
- [23] 夏敦胜,马剑英,王冠,等. 环境磁学及其在西北干旱区环境研究中的问题[J]. 地学前缘,2006,13(3):168-179.
- [24] Oldfield F, Yu L Z. The influence of particle size variations on the magnetic properties of sediments from the north-eastern Irish Sea [J]. Sedimentology,1994,41(6):1093-1108.
- [25] 刘青松,邓成龙,潘永信. 磁铁矿和磁赤铁矿磁化率的温度和频率特性及其环境磁学意义[J]. 第四纪研究,2007,27(6):955-962.
- [26] Maher B A. Magnetic properties of some synthetic submicron magnetites [J]. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society,1988,94(1):83-96.
- [27] Oldfield F. Toward the discrimination of fine-grained ferrimagnets by magnetic measurements in lake and near-shore marine sediments [J]. Journal of Geophysical Research,1994,99(B5):1093-1108.
- [28] 李勇,李海燕,白凌燕,等. 发育于石英岩之上的表土磁学性质及其环境磁学意义[J]. 土壤,2009,41(1):60-66.
- [29] Peters C, Dekkers M J. Selected room temperature magnetic parameters as a function of mineralogy, concentration and grain size [J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C,2003,28(16-19):659-667.
- [30] Peters C, Thompson R. Magnetic identification of selected natural iron oxides and sulphides [J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials,1998,183(3):365-374.
- [31] 王冠,夏敦胜,刘秀铭,等. 兰州市城市街道尘埃磁学特征时空变化规律[J]. 科学通报,2008,53(4):446-455.
- [32] Dearing J A, Bird P M, Dann R J L, *et al.* Secondary ferrimagnetic minerals in Welsh soils: a comparison of mineral magnetic detection methods and implications for mineral formation [J]. Geophysical Journal International,1997,130:727-736.
- [33] 夏敦胜,王冠,马剑英,等. 兰州市大气降尘环境磁学特征研究[J]. 中国沙漠,2007,27(5):859-865.
- [34] 夏敦胜,魏海涛,马剑英,等. 中亚地区现代表土磁学特征及其古环境意义[J]. 第四纪研究,2006,26(6):937-946.
- [35] 王丽,夏敦胜,余晔,等. 北疆地区城市大气降尘磁学特征及其环境意义[J]. 中国沙漠,2010,30(3):699-705.