

首钢生产区颗粒物的磁学性质研究

李 勇

(安徽科技学院 理学院, 安徽 凤阳 233100)

摘 要:首都钢铁公司在炼焦、发电、烧结、炼铁、炼钢、轧钢等生产过程中产生的磁性颗粒物的磁学参数都有所不同,但这些磁性颗粒物都具有质量磁化率高($>10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$)而频率磁化率低($<3\%$)的特征,磁性矿物都以较粗的准单畴和多畴晶粒的磁铁矿为主,另外,磁性颗粒物中还含有少量的顺磁性矿物和反铁磁性矿物。

关键词:首钢;磁性颗粒物;磁性参数

中图分类号: O441.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-8772(2008)01-0034-06

The Study of Magnetic Property of the Grains from the Shougang Producing Area

Li Yong

(College of Science, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China)

Abstract: Shougang group is a steel enterprise including coking plant, power plant, sintering plant, iron - sintering, rolling mill, steel - producing plant and so on. There are some difference in magnetic parameters among the magnetic grains from different producing processes. But all magnetic granules have characteristics of high susceptibility ($>10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$) and low frequency - dependent susceptibility ($<3\%$). Magnetism material is mainly magnetite, the size of which is coarse pseudo - single - domain and multidomain. In addition, there are little paramagnetism minerals and antiferro - magnetism minerals in magnetic grains.

Key words: Shougang group; Magnetism granule; Magnetic parameter

首都钢铁公司是集炼焦、发电、烧结、炼铁、炼钢、轧钢等生产过程为一体的钢铁生产企业。其中在原料运输、堆放、处理及炼铁、炼钢、轧钢、粉煤灰和钢渣堆放过程中都会释放大量的磁性颗粒物。国内外学者研究发现钢铁厂在生产过程中排放出来的颗粒物会引起周围环境颗粒物的磁性增长这种现象,并用质量磁化率来衡量影响程度^[1-2]。他们研究的思路都是把钢铁厂作为一个点,而没有对钢铁厂在不同的生产过程中产生的磁性颗粒物进行区分和研究,本文分别采集首钢各个不同生产过程中产生的颗粒物进行磁学参数测量,研究其磁学性质。

1 样品和方法

1.1 样品的采集

样品采集于首钢各生产车间内(地上、墙上、墙角、烟囱底下)的灰尘。每个采样点的灰尘分析试样均由多点采集混合而成。采点遍布各生产单位:炼铁厂(一、二、三、四号高炉)、炼钢厂(二号、三号炼钢厂)、轧钢厂(高速线材厂一车间、型材轧钢厂)、烧结厂(一号烧结生产车间)、焦化厂、发电厂。采集灰尘样品

收稿日期: 2007-09-20

基金项目: 安徽科技学院引进人才基金资助项目(ZRC2007103)。

作者简介: 李勇(1975-),男,湖南省祁东县人,硕士,讲师,主要从事磁学与环境磁学教学与研究。

共 49 个。

1.2 样品的预处理和实验

样品采回后在室内自然风干过 80 目筛,再装入 8cm³ 无磁性塑料样品盒、称重、压实,进行环境磁学测量。对于磁性特别强的样品,取少量(0.05–0.5g)用石膏封装在样品盒中,再进行磁学参数测量。

样品的体积磁化率采用捷克 AGICO 公司生产的 KLY-4 卡帕桥测量;样品的低频和高频磁化率采用英国 Bartington MS2 磁化率仪测量;等温剩磁的测量用英国 Molspin 公司生产的交变退磁仪、2G660 型脉冲磁力仪和 Minispin 旋转磁力仪完成;体积磁化率(κ)随温度(T)变化的曲线采用捷克 AGICO 公司生产的 KLY-4 卡帕桥,CS-3 作为温度控制系统,在氦气环境下完成的;磁滞回线采用 Micromag2900 型变梯度磁力仪测量;根据测量结果计算了样品的质量磁化率(χ)、频率磁化率(χ_{fd})、饱和等温剩磁、磁化系数 F_{300mT} 等参数。磁化率、 κ -T 曲线及等温剩磁测量在中国地质大学(北京)古地磁学与环境磁学实验室完成,频率磁化率及磁滞回线在北京大学环境磁学实验室完成。

2 结果与讨论

2.1 样品的质量磁化率跟频率磁化率测试结果分析

磁化率通常反映了亚铁磁性矿物(如磁铁矿)的含量,但也受到磁性矿物晶粒大小的影响,常温下超顺磁晶粒的磁化率要高于单畴(SD)和多畴(MD)晶粒。频率磁化率值大小反映了超顺磁(SP)晶粒对磁化率的贡献。

表 1 灰尘样品的质量磁化率跟频率磁化率测量结果

Table 1 Measuring result of susceptibility and frequency-dependent susceptibility of dust samples

样品号	$\chi(10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg})$	$\chi_{fd}(\%)$	样品号	$\chi(10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg})$	$\chi_{fd}(\%)$	样品号	$\chi(10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg})$	$\chi_{fd}(\%)$
T01	7.71	1.84	G05	17.33	2.29	F01	2.83	1.86
T02	4.36	1.67	G06	7.49	1.78	F02	1.51	2.66
T03	8.30	2.94	G07	3.22	0.75	F03	3.05	2.40
T04	6.98	1.45	G08	3.60	1.60	F04	3.21	2.83
T05	8.00	2.97	G09	5.15	1.30	F05	2.26	1.90
T06	5.67	0.35	Z01	12.37	1.42	F06	3.61	2.78
T07	4.52	0.73	Z02	10.30	0.73	F07	3.25	2.50
T08	5.23	0.96	Z03	8.04	0.63	J01	1.46	2.63
T09	6.97	0.26	Z04	3.09	0.14	J02	4.26	2.88
T10	4.72	0.23	Z05	8.98	1.58	J03	1.06	1.47
T11	5.77	0.30	Z06	8.75	0.61	J04	1.95	2.06
T12	5.98	0.21	S01	7.94	1.71	J05	2.40	1.76
T13	3.50	0.06	S02	11.22	1.18	J06	3.71	2.34
T14	2.02	0.46	S03	8.09	0.49	Mean	5.81	1.43
G01	11.08	1.11	S04	5.91	0.65	Mininum	1.06	0.06
G02	3.85	1.74	S05	6.43	1.23	Maximum	17.33	2.97
G03	6.06	1.02	S06	5.80	0.50			
G04	8.98	1.61	S07	6.86	1.39			

根据测量结果计算发现所有灰尘样品的频率磁化率都小于 3%(表 1),表明灰尘样品中基本不含超顺磁晶粒。而灰法样品质量磁化率值都大于 $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$,其中焦化厂的灰尘样品质量磁化率值最小 $1.06 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$,但这个值也大大超过了一般土壤的质量磁化率 $400 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}^{[3]}$ 。而炼钢厂、炼铁厂、轧钢厂、烧结厂的灰尘样品的质量磁化率更大,说明灰尘样品中磁性矿物含量非常高。由此可见首钢生产过程中产生的颗粒物具有质量磁化率大而频率磁化率小的特征。这与其他学者研究钢铁厂颗粒物的磁学特征结果相一致^[4-5]。灰尘样品的质量磁化率与频率磁化率的对应关系如图 1。

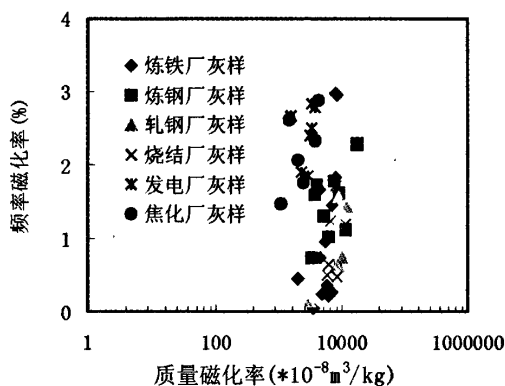


图1 灰尘样品质量磁化率与频率磁化率散点图(横轴取的是对数坐标)

Fig. 1 The cross - plot of susceptibility and frequency - dependent susceptibility of dust samples (horizontal axis is logarithm coordinate)

2.2 磁性矿物

在环境磁学研究中,磁性矿物一般是指亚铁磁性矿物(如磁铁矿等)和不完整反铁磁性矿物(如赤铁矿等)。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,因而与亚铁磁性矿物一起构成了环境磁学关注的主要对象。

磁化系数 $F_{300\text{mT}}$ 反映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含量的增加而下降。图2是灰尘样品的等温剩磁(IRM)获得曲线与反向退磁曲线。灰尘样品在外加300mT磁场时灰样品所获等温剩磁已达饱和等温剩磁的93.3%~98.8%(图2),这表明低矫顽力的亚铁磁性矿物主导了灰尘样品磁学特征。

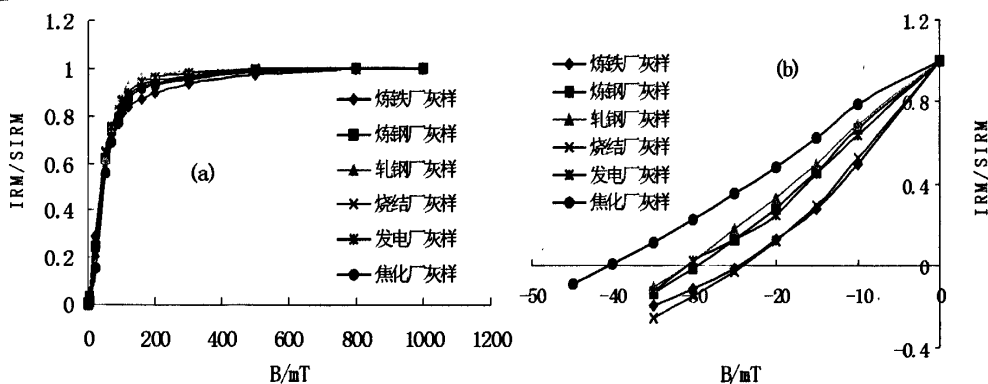


图2 灰尘样品的等温剩磁获得曲线(a)与反向退磁曲线(b)

Fig. 2 Sketch of saturated isothermal remanence curves and reverse demagnetization curves of dust samples

剩磁矫顽力 $(B_0)_{\text{CR}}$ 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^[4]。单畴和多畴磁铁矿的剩磁矫顽力的理论值分别为33mT和15mT,而赤铁矿的剩磁矫顽力理论值为300mT。图2显示出了灰尘样品的剩磁矫顽力值,除焦化厂的灰样值是37.8mT外,其余样品的剩磁矫顽力都在25~33mT之间,表明样品中主要磁性载体是磁铁矿,而焦化厂的灰尘样品中可能还存在少量的赤铁矿。另外,灰尘样品的剩磁矫顽力的数值较为接近,显示了相对一致的磁性矿物组成。

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) 是指样品在低磁场中 (20mT) 所获剩磁, 基本不受不完整反铁磁性矿物的影响, 用来指示亚铁磁性晶粒, 尤其是较粗的多畴晶粒的含量。图 3 显示各生产单位灰尘样品的 SIRM 与 SOFT 显著相关 ($R^2 = 0.8168$), 也反映出磁化率的变化主要受到亚铁磁性矿物的控制。

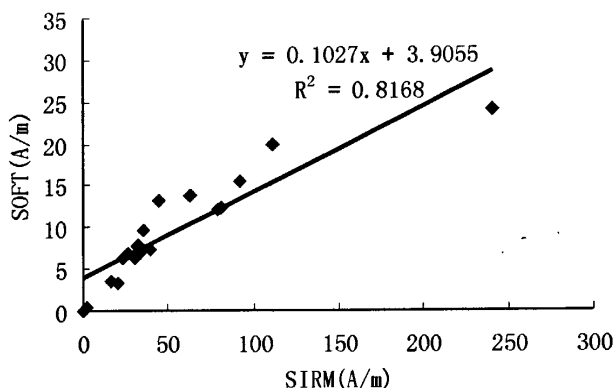


图 3 灰尘样品的 SIRM-SOFT 散点图

Fig. 3 The SIRM-SOFT cross-plot of dust samples

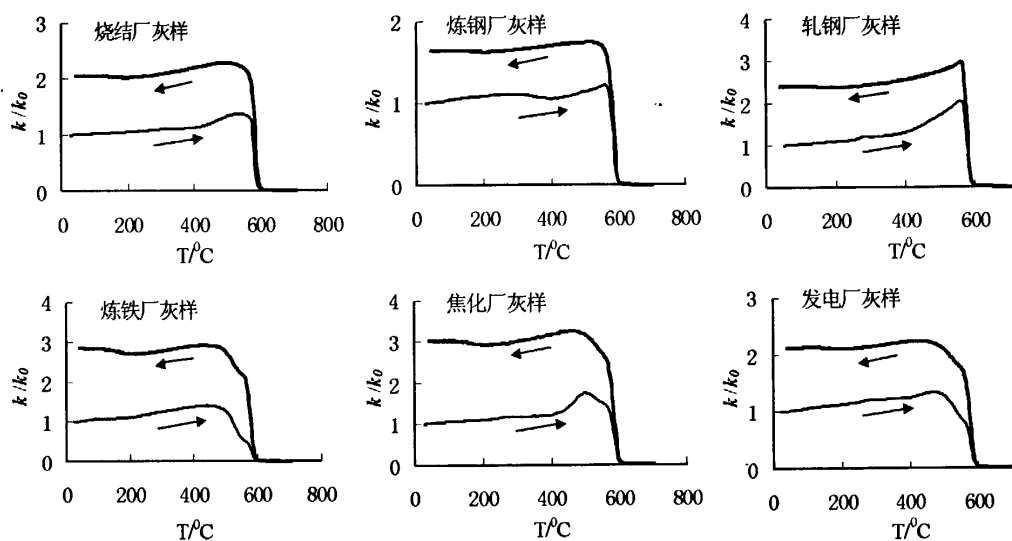


图 4 灰尘样品的 κ -T 曲线图

Fig. 4 κ -T curves of dust samples

样品磁化率 (κ) 随温度 (T) 变化的曲线 (简称 κ -T 曲线), 如图 4, 烧结车间灰样磁化率在 450℃ - 530℃ 之间逐渐升高可能是由含铁硅酸盐矿物或粘土矿物在高温下分解生成亚铁磁性矿物形成的^[6], 但也不排除 Hopkinson 效应^[7]; 炼钢厂灰样磁化率在温度加热到 280℃ 左右时呈现出微弱的峰值, 可能是由于铁的氢氧化物 (如纤铁矿) 脱水转化为磁赤铁矿造成的^[2]; 轧钢厂灰样在温度加热到 300℃ - 560℃ 之间时, 磁化率值一直在增大, 分析原因可能有二: 一是由于加热过程中有新的强磁性矿物生成, 二是由于 Hopkinson 效应引起, 在对应的冷却曲线中也出现的相应的尖峰形; 炼铁厂灰样加热到 520℃ 左右时其磁化率出现了一个转折, 表现出一种矿物的居里温度, 这可能是磁铁矿内部发生交代所致^[4], 使得磁铁矿的居里温度下降; 焦化厂灰样的磁化率在加热到 400℃ - 570℃ 时明显出现了一个隆起, 磁化率在 500℃ 左右

出现一个峰值,这可能是由含铁硅酸盐矿物或粘土矿物在高温下分解生成亚铁磁性矿物形成的,另外焦化厂灰样和发电厂灰样在加热到 550℃ 左右时也表现出磁铁矿被交代的现象。所有样品在加热到 580℃ 左右时,其加热曲线的磁化率都出现急剧降低,显示出磁铁矿的居里温度。

综合以上分析得到各生产单位灰尘样品中含有的主要磁性矿物都是磁铁矿,另外部分灰尘样品中可能还含有含铁硅酸盐矿物、粘土矿物、铁的氢氧化物。

2.3 磁性矿物的粒度特征

灰尘样品的 χ_{fd} 变化范围介于 0.06% - 2.97% 之间,都小于 3%,平均值为 1.43% (表 1),指示出灰尘样品中磁性矿物以大颗粒为主,几乎不含有超顺磁晶粒。

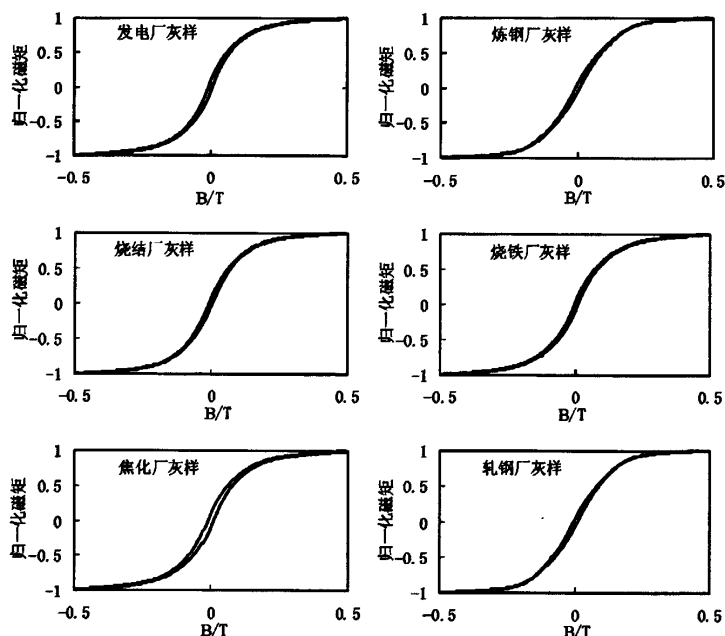


图 5 灰尘样品的磁滞回线(已经过顺磁校正)

Fig. 5 Hysteresis loops for dust samples(after slope correction for the paramagnetic contribution)

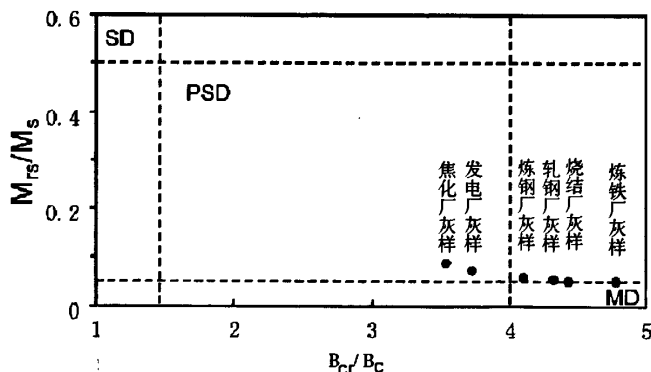


图 6 灰尘样品的 Day 氏图

Fig. 6 Hysteresis ratios plotted on the Day plot

图5表示各生产单位灰尘样品去除顺磁性矿物贡献后典型的磁滞回线。所有灰尘样品的磁滞回线都显示较低的矫顽力(B_c)与饱和磁场(多畴磁铁矿特征)。除焦化厂灰样的矫顽力大于10mT(等于10.31mT),其它灰尘样品的矫顽力都小于10mT。在外加500mT的磁场作用下除焦化厂灰样外其它灰样所获剩磁全部达到饱和。表明灰尘样品中的磁性矿物以单畴和多畴状态的磁铁矿为主,焦化厂的灰样中可能还含有少量的反铁磁性的矿物。

在以样品的饱和剩余磁化强度与饱和磁化强度之比(M_{rs}/M_s)为纵坐标,剩磁矫顽力与矫顽力之比(B_{cr}/B_c)为横坐标的Day氏图上^[8],焦化厂、发电厂灰尘样品落在了假单畴区域内,炼铁厂、炼钢厂、轧钢厂、烧结厂灰样品落在了多畴区域内(图6),表明灰尘样品中磁铁矿以较粗的准单畴和多畴晶粒为主。

3 结论

首钢在生产过程中所产生的颗粒物磁性矿物含量高,且具有质量磁化率高($>10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$)频率磁化率低($<3\%$)的特征;首钢在生产过程中所产生的颗粒物中含有的磁性矿物以磁铁矿为主,另外部分颗粒物中可能还含有赤铁矿、含铁硅酸盐矿物、粘土矿物和铁的氢氧化物;磁铁矿以较粗的准单畴和多畴晶粒为主。

参考文献:

- [1] Scoulllos MJ, Oldfield F, Thompson R. Magnetic monitoring of marine particulate pollution in the Elefsis Gulf, Greece [J]. Marine Pollution Bulletin, 1979, 10(10): 287-291.
- [2] 据宜太, 王少怀, 张庆鹏, 等. 福建三明地区被污染土壤的磁学性质及其环境意义[J]. 地球物理学报, 2004, 47(2): 282-288.
- [3] 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[J]. 中国科学(B辑), 1994, 24(12): 1290-1297.
- [4] Thompson R, Oldfield E. Environmental magnetism[M]. London: Allen and Unwin, 1986: 1-227.
- [5] 旺罗, 刘东生, 吕厚远. 污染土壤的磁化率特征[J]. 科学通报, 2000, 45(10): 1091-1094.
- [6] Zhu RX, Deng CL, Jackson MJ. A magnetic investigation along a NW-SE transect of the Chinese Loess Plateau and its implications[J]. Phys Chem Earth (A), 2001, 26(11-12): 867-872.
- [7] Dunlop DJ, and Ozdemir O. Rock magnetism: Fundamentals and Frontiers[M]. Cambridge (U. K.): Cambridge University Press, 1997.
- [8] Day R, Fuller M, Schmidt VA. Hysteresis properties of titanomagnetites: grain-size and compositional dependence[J]. Phys Earth Planet Inter, 1977, 13: 260-267.

(责任编辑: 李孟良)