

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

矿石标本磁化率影响因素的探讨

吴功建 李慧贞 王永勤 閔志 姜枚

在岩矿标本磁化率影响因素方面,许多学者进行了大量研究工作^[7],获得了不少成就。但由于地质现象的复杂性,矿床成矿条件的不同,所以影响磁性的因素也较复杂,因此有进一步探讨的必要。

我们在岩矿标本磁性影响因素方面进行了一些尝试性工作。研究工作是在一个矽卡岩型铜铁矿床上进行的。其矿石主要为致密块状、浸染状磁铁矿及含铜磁铁矿类型。我们测定了 1336 块分布于不同地段的岩心标本磁化率和剩余磁化强度,抽查了其中 85 块,其相对误差为 15% 左右;同时对标本进行了镜下观察和体积百分含量的测定等工作。

岩矿标本磁性测定使用了悬丝式磁秤,其格值为 5 伽玛/格左右,测量时将标本中心置于磁系(呈东西方向)旋转轴的延长线上,进行 12 个方位的测定^[8]。测定结果表明,该方法测量精度较磁秤第一位置及第二位置法测量精度高一倍多。

将所测矿石标本磁化率 K 、剩余磁化强度 I_r 进行数理统计整理,并分别作出频率分布图(图 1)。从变异曲线和制作的理论曲线^[3]可以看出,磁化率 K 与剩余磁化强度 I_r 频率均服从对数正态分布。矿石标本磁化率 K 的平均值 $\bar{K}$ 为 0.058 CGSM, $\bar{K} \pm \sigma_1$ 为 0.013—0.250 CGSM, σ_1 为标准差; I_r 平均值 $\bar{I}_r$ 为 0.014 高斯, $\bar{I}_r \pm \sigma_2$ 为 0.004—0.045 高斯, σ_2 为标准差。矿石围岩为弱磁性或无磁性,与矿石之磁性相比,差异显著。

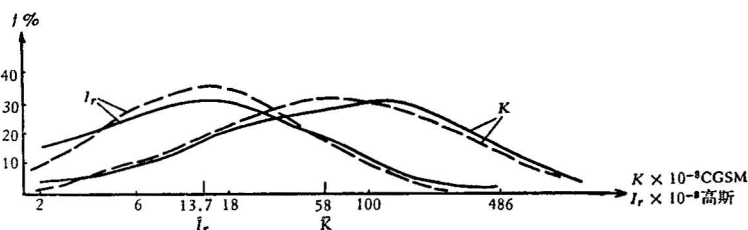


图 1 矿石磁化率(K)、剩余磁化强度(I_r)变异曲线及理论曲线。

——变异曲线; - - - 理论曲线; $\bar{K}$ 磁化率平均值; $\bar{I}_r$ 剩余磁化强度平均值。

现根据所测定之磁性数值及镜下鉴定资料,对矿石标本磁化率的几个主要影响因素进行一些探讨。

一、磁铁矿体积百分含量对磁化率的影响

将采自不同矿体 8 个钻孔的 123 块矿石标本的磁化率及磁铁矿体积百分含量进行相关系统计(图 2),其结果表明标本磁化率随磁铁矿体积百分含量的增多而增大。从图 2 可看出,当磁铁矿体积百分含量 V 在 20—60% 时,磁化率与体积百分含量相关紧密,而

V 在 60% 以上时, 磁化率随着体积百分含量的增加则增长较快。

为找出磁化率与磁铁矿体积百分含量间的关系, 首先取直线回归方程^[8]计算其相关系数, 以便选择一个最好的经验公式:

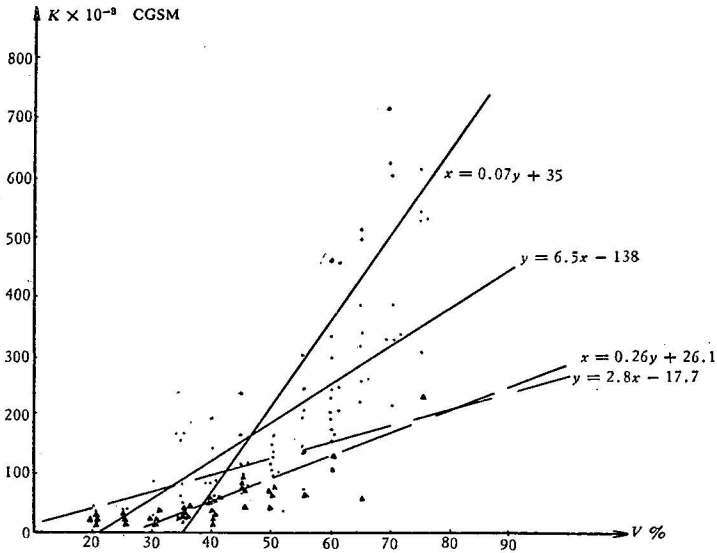


图 2 矿石磁化率与磁铁矿体积百分含量相关关系曲线

- 磁铁矿矿石 / 磁铁矿矿石及赤铁矿化磁铁矿矿石磁化率与磁铁矿体积百分含量相关关系曲线
- ▲ 赤铁矿化磁铁矿矿石 / 赤铁矿化磁铁矿矿石磁化率与磁铁矿体积百分含量相关关系曲线

即

$$y - \bar{y} = \Gamma \frac{\sigma_x}{\sigma_y} (x - \bar{x})$$

式中 $\bar{y}$, $\bar{x}$ 为两个变量 x_i , y_i 的算术平均值, 即

$$\bar{x} = \frac{\sum^n x_i}{n}, \quad \bar{y} = \frac{\sum^n y_i}{n}$$

n 为标本数, σ_x , σ_y 为 x , y 的标准差。

$$\sigma_y = \sqrt{\overline{y^2} - (\bar{y})^2}, \quad \sigma_x = \sqrt{\overline{x^2} - (\bar{x})^2},$$

相关系数

$$\Gamma = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x \sigma_y}$$

计算出之经验公式为

$$y = 6.5x - 138, \quad x = 0.07y + 35.$$

经计算, 相关系数(Γ)为 0.68, 说明磁化率与磁铁矿体积百分含量之间呈线性相关, 但直线性不理想。

事实上, 矿石标本磁化率 K 与磁铁矿体积百分含量 V 的相关关系(图 3), 更服从于对数直线函数关系分布, 因此可将二者关系视为 $K = aV^b$ 。式中 a , b 为系数, 取其对数, 则得

$$\log K = \log a + b \log V.$$

此式在双对数坐标纸上为直线方程,因而可利用直线回归方程的关系式^[2],改写成:

$$\log K = \log a + b(\log V - \overline{\log V})$$

其中

$$\log a = \overline{\log K}$$

则

$$b = \frac{\Sigma(\log K - \overline{\log K})(\log V - \overline{\log V})}{\Sigma(\log V - \overline{\log V})^2}$$

计算结果见表 1。

根据表 1 数据算出:

$$\overline{\log V} = 1.642; \quad \overline{\log K} = 1.085,$$

$$\Sigma(\lg V - \overline{\lg V})(\lg K - \overline{\lg K}) = 0.855;$$

$$\Sigma(\lg V - \overline{\lg V})^2 = 0.366$$

将上述数值代入对数式中,则得

$$b = 2.33, \quad \log a = 1.085,$$

$$\log K = 1.085 + 2.33(\log V - 1.642)$$

所以

$$K = 5.6V^{2.33} \cdot 10^{-3} \text{ CGSM}_0$$

这一经验公式近似地表明了磁化率与磁铁矿体积百分含量的对数直线函数关系。若已知矿石标本之磁化率,则利用这一经验公式可大致确定标本中磁铁矿体积百分含量。经对比表明,所计算出之百分含量与镜下鉴定的相差在 10% 以下。

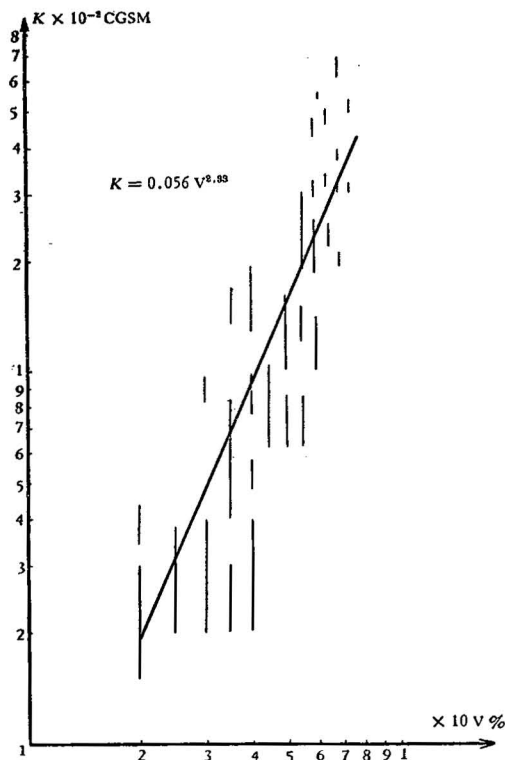


图 3 矿石磁化率与磁铁矿体积百分含量关系曲线

表 1

V	$\bar{K} \cdot 10^{-4}$	$\log V$	$\log K$	$\lg V - \overline{\lg V}$	$\lg K - \overline{\lg K}$	$(\lg V - \overline{\lg V}) \cdot (\lg K - \overline{\lg K})$	$(\lg V - \overline{\lg V})^2$
20	2.6	1.301	0.415	-0.341	-0.670	0.228	0.116
25	3.3	1.398	0.519	-0.244	-0.566	0.138	0.059
30	4.0	1.477	0.602	-0.165	-0.483	0.080	0.027
35	6.4	1.544	0.806	-0.098	-0.279	0.027	0.010
40	9.2	1.602	0.964	-0.040	-0.121	0.005	0.002
45	12.3	1.653	1.010	0.011	0.005	0	0.001
50	15.1	1.699	1.179	0.057	0.094	0.005	0.003
55	19.3	1.740	1.286	0.098	0.201	0.020	0.010
60	25.3	1.778	1.403	0.136	0.318	0.043	0.014
65	29.0	1.813	1.467	0.171	0.382	0.065	0.029
70	38.7	1.845	1.588	0.203	0.503	0.102	0.041
75	49.8	1.875	1.697	0.233	0.612	0.142	0.054

二、磁铁矿粒度对磁化率的影响

该矿床矿石按磁铁矿粒度之不同可分为下列几种:

1. 等粒矿石:

(1) 粗粒矿石: 磁铁矿颗粒直径为 0.1—0.6 毫米, 磁铁矿多呈半自形, 少数呈自形, 形状较规则, 颗粒中残余脉石较少(图版 I 之 1)。

(2) 细粒矿石: 磁铁矿颗粒直径在 0.1 毫米以下, 磁铁矿多呈他形, 形状不规则(图版 I 之 2)。

2. 不等粒矿石: 磁铁矿颗粒大小不等, 直径由 0.03—0.6 毫米, 多呈半自形或他形, 颗粒中残余脉石较粗粒矿石中的稍多(图版 I 之 3)。

不同粒度的磁化率值, 以不同的符号示于图 4。从图 4 可以看出, 标本磁化率不仅受磁铁矿体积百分含量的影响, 而且与磁铁矿颗粒度有关, 粗粒者, 磁化率较强, 分布于 $x = 0.2y + 26.1$, $y = 2.8x - 17.7$ 回归线的上部; 细粒者较弱, 分布于该组回归曲线的下部; 不等粒者为中等, 分布于两者之间。

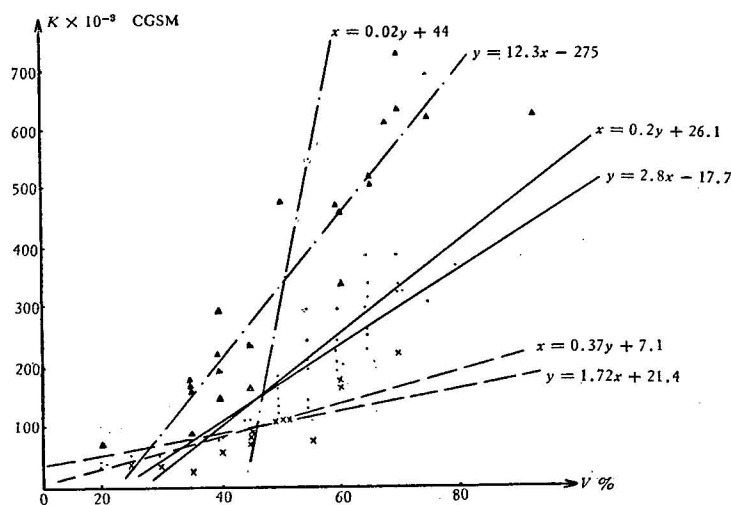


图 4 粗粒、不等粒、细粒矿石磁化率与磁铁矿体积百分含量相关关系曲线

▲ --- 粗粒矿石及其相关关系曲线 ● — 不等粒矿石及其相关关系曲线
× --- 细粒矿石及其相关关系曲线

为了确定磁铁矿粒度对磁化率的影响, 假定各种粒度的磁铁矿矿石磁化率均方根差相同, 采用离差分析来检验磁化率的母体平均值是否因磁铁矿粒度的不同而有所差异。

兹列一个变异因素的离差分析表如下:

当矿石标本中磁铁矿体积百分含量为 35% 及 60% 时, 依磁铁矿粒度之不同, 将其磁化率分组数值列于表 2 及表 3。

将表 3 数值代入下列公式

$$F = \frac{3 \sum_{j=1}^3 (\bar{K}_j - \bar{K})^2 / 2}{\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 (K_{ij} - \bar{K})^2 / 6}$$

$$\bar{K}_j = \frac{\sum_{i=1}^3 K_{ij}}{3}, \quad \bar{K} = \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 K_{ij}}{9}.$$

表 2a $V = 35\%$

组 号	磁化率 (10^{-2} CGSM)		
	粗 粒	不 等 粒	细 粒
1	K_{11} 1.54	K_{12} 0.63	K_{13} 0.40
2	K_{21} 1.61	K_{22} 0.65	K_{23} 0.42
3	K_{31} 1.66	K_{32} 0.84	K_{33} 0.44

表 2b $V = 60\%$

组 号	磁化率 (10^{-2} CGSM)		
	粗 粒	不 等 粒	细 粒
1	K_{11} 3.35	K_{12} 2.25	K_{13} 1.55
2	K_{21} 4.66	K_{22} 2.46	K_{23} 1.60
3	K_{31} 4.65	K_{32} 2.94	K_{33} 1.71

表 3a 利用表 2 制作出的离差分析表

	离差平方和	自由度	平均离差平方和
组与组之间	2.32	2	1.16
组 内 部	0.09	6	0.015
总 和	2.41	8	

表 3b

	离差平方和	自由度	平均离差平方和
组与组之间	12.2	2	6.1
组 内 部	1.3	6	0.21
总 和	13.5	8	

则得 $F_{35\%} = 77$, $F_{60\%} = 29$ 。 F 为具有组间自由度 2 和组内自由度 6 的按 F 分布律分布的随机变数。推断时所用的信度为 5% 和 1%, 由 F 分布表中查出 F 分布的临界限值 ε_p 。若 $F \geq \varepsilon_p$, 则认为磁铁矿粒度不同组合对磁化率有显著影响, 反之则认为无影响。现查得 $\varepsilon_{p0.05} = 5.14$, $\varepsilon_{p0.01} = 10.92$, 故 $F(77)$, 或 $F(29) \gg \varepsilon_p$, 即对于信度为 5% 或是 1% 来说, 磁铁矿粒度对磁化率的影响都是显著的, 若假定它们的粒度一样, 则是不可信的。

根据磁铁矿粒度的不同, 分别作标本磁化率与磁铁矿体积百分含量的相关关系曲线。从图 4 可看出, 其斜率及截距均有所不同, 其中细粒及不等粒磁铁矿矿石的相关系数分别为 0.8 及 0.9, 相关关系均较紧密, 但粗粒磁铁矿矿石者则为 0.48, 相关关系较差。这说明了标本磁化率与磁铁矿体积百分含量呈对数直线函数分布, 主要是由粗粒磁铁矿矿石磁化率影响所致。

三、磁铁矿赤铁矿化对磁化率的影响

本区有的矿体赤铁矿化较强烈, 按其分布方式的不同, 可分为三种:

1. 赤铁矿沿磁铁矿解理发育, 当极细的较规则网格状 (图版 I 之 4)。赤铁矿在磁铁矿中分布均匀、普遍, 体积百分含量一般在 30—50% 之间, 也有较少者。

2. 赤铁矿沿磁铁矿之边缘、裂隙或脉石之边缘发育, 呈较粗的不规则网格状 (图版 I 之 5)。赤铁矿石磁铁矿中分布均匀、普遍, 体积百分含量与前者同。

3. 赤铁矿全部交代磁铁矿颗粒, 呈假象赤铁矿 (图版 II 之 1)。这时赤铁矿体积百分含量较少, 分布不普遍。

为了查明未赤铁矿化矿石与赤铁矿化矿石之磁化率有无差别, 进行了显著性检验^[3]。取未赤铁矿化矿石及赤铁矿化矿石标本数 n_1 及 n_2 各为 20, 根据标本磁化率值分别计算出其平均值 $\bar{K}_1 = 0.039 \text{CGSM}$, $\bar{K}_2 = 0.028 \text{CGSM}$, 相应标准差平方各为 $S_1^2 = 0.071 \text{CGSM}$, $S_2^2 = 0.072 \text{CGSM}$ 。将上述数值代入司都顿 t 分布公式:

$$t_K = \frac{|\bar{K}_1 - \bar{K}_2|}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}, \quad \text{得 } t_K = 4.15.$$

$$\text{同样将 } \bar{Q}_1 = 1.36, \bar{Q}_2 = 0.44, S_1^2 = 1.02, S_2^2 = 0.16 \text{ 代入公式: } t_Q = \frac{|\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2|}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}},$$

得 $t_Q = 3.7$ 。

依自由度 $\nu = n_1 + n_2 - 2 = 38$, 信度为 1%, 查出司都顿 t 分布的临界限值为 2.704, 但计算出之 t_K 及 t_Q 值均超过此数, 故认为未赤铁矿化矿石与赤铁矿化矿石之磁化率差异显著, 不是一个随机分布的结果。

此外, 从图 4 中可看出, 磁铁矿体积百分含量相同之未赤铁矿化矿石及赤铁矿化矿石标本之磁化率有所不同, 前者较后者为高。将第一和第二种赤铁矿化矿石体积百分含量与磁化率进行相关统计, 其结果表明, 二者呈线性相关, 相关程度较好, 相关系数为 0.8 (图 2)。第三种赤铁矿化对本磁化率影响较小。

产生上述现象的原因, 初步认为是由于第一、二种赤铁矿化作用使原来完整的磁铁矿颗粒变为彼此分开的碎块状, 以致破坏了磁铁矿原有结构, 从而导致矿石磁化率的降低。

四、磁铁矿矿石的结构对磁化率的影响

从图 4 可看出, 在同一粒度的矿石中, 虽然磁铁矿体积百分含量相同, 但其磁化率仍有上下偏离的现象。经研究后发现, 在粗粒与不等粒磁铁矿石中, 矿石结构不同, 其磁化率亦有所差别:

1. 磁铁矿多呈半自形较规则粒状, 其中脉石矿物较少, 表面较洁净、光滑。具这类结构的矿石无论在细粒矿石中 (图版 II 之 2) 或是在不等粒矿石中 (图版 II 之 3) 其磁化率均较强。

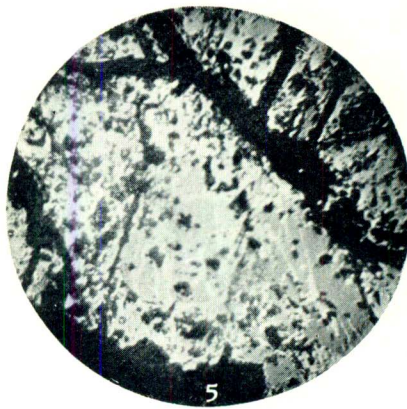
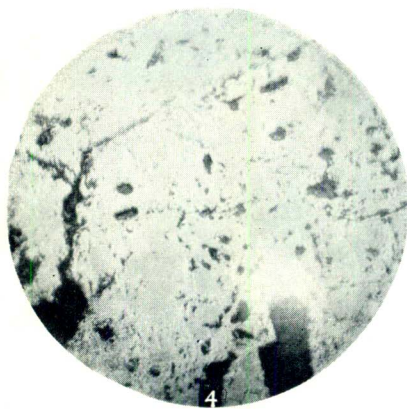
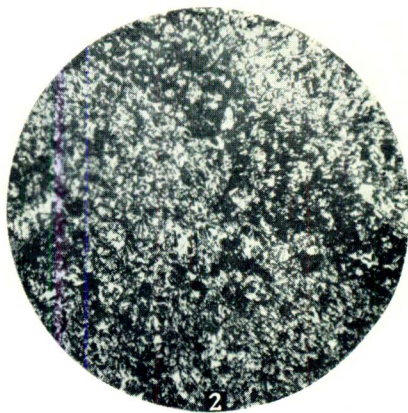
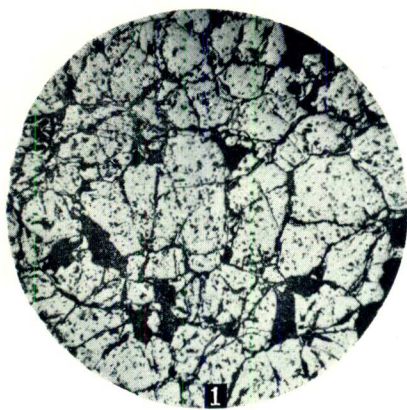
2. 磁铁矿多呈他形不规则粒状出现, 其中脉石矿物较多, 表面不如前者洁净、平滑。具这类结构的细粒 (图版 II 之 4) 与不等粒磁铁矿 (图版 II 之 5) 矿石磁化率均较前者为弱。

通过对矿石标本磁化率与镜下观察资料的综合研究表明, 本区矿石标本磁化率从整

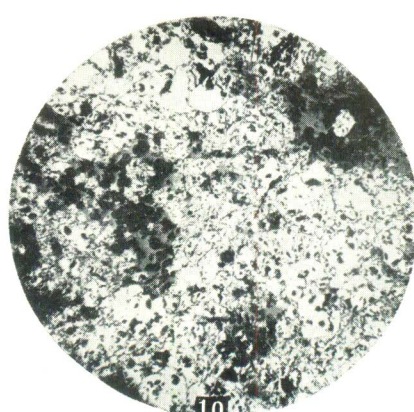
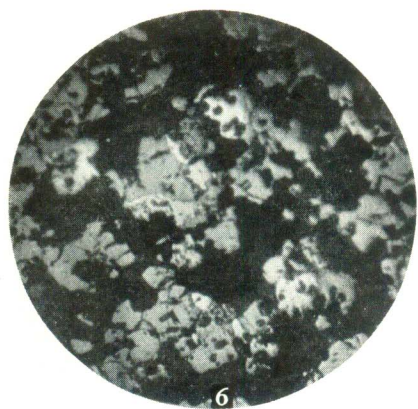
体来看,主要取决于其中磁铁矿的体积百分含量,二者相互关系可近似地以 $K=5.6V^{2.33} \times 10^{-3}$ CGSM 表达。在标本磁铁矿体积百分含量相同时,磁化率的影响因素有二,其一为磁铁矿的粒度,其二为磁铁矿的赤铁矿化。在磁铁矿体积百分含量与粒度均相同的情况下,磁化率又受矿石结构的影响。

参 考 文 献

- [1] 永田武 1959, 岩石磁学 38—95 页,地质出版社。
- [2] 沙庆林 1960, 观察试验资料的数学加工法。21—35 页,人民交通出版社。
- [3] 周华章 1963, 工业技术应用数理统计学。上册, 242 页, 250—258 页,人民教育出版社。
- [4] Bath Gordon D. 1962. Magnetic anomalies and magnetization of the Biwabik iron-formation Mesabi area, Minnesota. *Geophysics* vol XXVII No.5, pp. 627—650.
- [5] Jahran Chailes E. 1963. Magnetic susceptibility of bedded iron-formation *Geophysics* vol XXVIII No. 5, pp. 756—766.
- [6] Rao v. Bhaskara. 1956. Magnetic properties of magnetite. *Geophysics* vol. XXI No.4, pp. 1100—1110.
- [7] Werner sture 1945. Determinations of the magnetic susceptibility of ores and rocks from Smedich iron ore deposits. *Sveriges geologiska undersökning, Årsbok*, 39. No.5. ser. c No. 472. p. 79.
- [8] Дортман Н. Б. Озерская М. Л. и др. 1962. Методическое руководство по определению физических свойств горных пород и полезных ископаемых (ВСЕГЕИ, Внигеофизика) стр. 17—31, 357—369. 370—375.



1. 粗粒磁铁矿(灰色)矿石 光片 $\times 30$
2. 细粒磁铁矿(白色)矿石 光片 $\times 30$
3. 不等粒磁铁矿(灰色)矿石 光片 $\times 30$
4. 赤铁矿(白色)呈较规则网格状交代磁铁矿(灰色) 光片 $\times 238$
5. 赤铁矿(白色)呈不规则网格状交代磁铁矿(灰色) 光片 $\times 238$



6. 赤铁矿(白色)呈假象交代磁铁矿(灰色) 光片×30
7. 半自形较规则之细粒磁铁矿石(灰色) 光片×238
8. 半自形较规则之不等粒磁铁矿石(灰色) 光片×30
9. 他形不规则之细粒磁铁矿石(白色) 光片×238
10. 他形不规则之不等粒磁铁矿石(白色) 光片×30