

岩石磁性测定的几个问题

秦葆瑚

(湖南省地质局物探队)



物探与化探

在解释磁异常时,需要大量测定岩石的磁性,但对岩石磁性的复杂性及其能够解决地质问题的能力往往认识不足。假如不仅测定岩石的感磁和剩磁,而且还研究剩磁的性质,那就可以对热、化学和动力等剩磁异常进行分类,进而提高阐明某些地质现象的能力。

岩石出露地表后的磁性变化

目前主要是在选定的地点采集定向标本来研究岩石的磁性,而且只注意了标本是否新鲜,却忽视了岩石出露后的磁性变化。例如:

1. 四川大顶山铁矿露头的磁性与坑道中铁矿的磁性明显不同,可从下面的结果看出:

I号矿体: $\kappa = 140000$; I_r (露头) = 650000; I_r (坑道) 60000 (单位均为 10^{-6} CGSM, 下同)。

II号矿体: $\kappa = 130000$, I_r (露头) = 1000000; I_r (坑道) = 36000。

坑道中的矿体与露头高差约20米。铁矿石的剩磁大小与深度有关,露头与坑道中同一矿体的剩磁相差十余倍到数十倍,而且都是露头的剩磁强,方向乱;坑道矿体的剩磁弱,方向接近一致。露头与坑道矿体的磁化率相同,故未分别统计。利用从坑道中取得的磁性资料进行选择法定量解释,经钻探验证,证明坑道中取得的磁性资料是可靠的。

2. 四川菜园子铁矿区一号矿体上,露头与坑道中铁矿石的磁性差异较大。如 K_r 和 K_s 探槽中

铁矿露头的磁性是: $\kappa = 50000$, $I_r = 1250000$, I_r 的方向较乱,并有反磁性。在露头之下70余米深处的坑道中,铁矿石的磁性是: $\kappa = 87000$, $I_r = 130000$ 。露头矿与深部矿的剩磁强度相差96倍,而且深部矿的剩磁方向比较一致,为正常磁化。利用坑道磁性资料对矿体磁异常进行正演计算,与实测磁异常符合,从而证明坑道磁性资料可靠。

3. 四川朝王坪矿区新发现的VII号矿体,其露头标本的磁性: $\kappa = 70800$, $I_r = 3850000$ 。 I_r 的方向很乱,而且多具有反向磁性。这与在矿体上实测的磁异常特征不符。起初以为是标本代表性较差所造成。重新取样测量,结果仍与前次一样。由于不能采取深部样品,无法了解深部矿石的磁性特征,但从矿体磁异常特征来看,从铁矿露头上取得的磁性资料,对定量解释磁异常并无用处。

4. 在检查四川百灵乡由玄武岩引起的 M_{44} 航磁异常时,测得各块玄武岩露头的磁化率为 2500 ~ 16000, 剩磁强度为 1500 ~ 26540, $Q = I_r / I_i = 1.2 \sim 9.5$, 剩磁方向很乱。玫瑰图统计的磁化方向与其正常磁化方向相反。由于玄武岩的 Q 值大,如果露头的磁性真能代表玄武岩岩体的磁性,则应出现反常的磁异常。但无论是航空还是地面的磁测结果均为正常磁化体引起的磁异常,表明深处玄武岩的磁性与露头玄武岩的磁性不同。磁异常是由深部玄武岩的磁性决定的。玄武岩露头很薄的表层部分,由于长期受外界因素的影响,磁性发生了显著变化,不能代表整个玄武岩岩体。在这种情况下,露头磁性资料

对磁异常的定量解释，显然用处不大。

综上所述，强磁性岩、矿石标本的磁性随深度变化的特点是：

1. 地表露头的磁性很强，深处的磁性减弱。
2. 地表和深部的磁化率变化不大。露头的剩磁常比深处的剩磁大十几倍到数十倍，剩磁方向变化大，有时出现反磁化。

岩、矿石露头在铁矿体较强的磁场与地磁场

的共同作用下，长期经受季节性的温度变化和昼夜温差变化，使磁畴在经常的、周而复始的热扰动作用下，逐渐顺外场方向排列，产生了很强的热粘滞性剩磁。同时，由于露头形状不规则，致使剩磁方向变化很大，甚至出现反磁化。

为了验证这种设想的可信性，我们在菜园子 I 号矿体上采取了三块有代表性的标本，进行加温退磁试验，再测定其磁性，结果如表 1。

菜园子一号矿体上采集的标本的磁性测定结果 表 1

取样位置	K ₆ 号 槽		K ₇ 号 槽		坑 道 内	
标 本 号	366		372		380	
磁化率和剩磁 (10 ⁻⁶ CGSM)	κ	I_r	κ	I_r	κ	I_r
加 温 方 法①	43400	1210000	55300	325000	87100	13400
加 温 方 法②	97000	1100000	49100	185000	92400	16400
加 温 方 法③	103000	28300	55000	49500	116000	28500

注：①标本未经加温处理；②将标本埋在煮饭后炉灶内灰烬中加热到200℃左右，然后让其自然冷却，

再测其磁性；③将标本埋在铁匠炉中，加温至800~1000℃，持续约半小时，自然冷却后再测定其磁性。

上述粗糙的加温退磁试验结果，说明露头与深处矿体的磁性可能原是一样的，只是由于矿体出露地表后，长期经受季节性及昼夜温差变化的影响，才使剩磁显著增强，方向变乱。露头的这种热粘滞剩磁是很稳定的，虽经敲打，甚至加热到200℃以上，只要不超过居里点，剩磁变化并不大。此外，剩磁特强的铁矿露头多出现在地形突出的山头上，在漫长的地质年代中很可能由于经常受到雷电影响而强烈磁化，剩磁强度增大，方向变乱。

由于露头磁性与深部岩石的磁性有很大差异，所以应避免采取裸露的岩石标本。只有在钻孔或坑道中取得的岩石标本，才可能提供可靠的磁性资料。

剩磁特强标本的磁性测定问题

按磁法勘探规范，当视磁化率 $\kappa' > 5000 \times 10^{-6}$ CGSM 时，应按公式

$$\kappa = \frac{\kappa'}{1 - N \kappa'} \quad (1)$$

作退磁改正，求出真磁化率 κ 。(式中 N 为退磁

系数，约等于 $4\pi/3$)。我们曾遇到许多剩磁特强的标本，其视磁化率 $\kappa' > 240000 \times 10^{-6}$ CGSM，于是 $N \kappa' > 1$ ，代入 (1) 式算出的真磁化率 $\kappa < 0$ 。显然这是一种反常的现象。先以为是测量误差导致的结果，采取改变测定方位，增大标本至磁秤之间的距离，多次重复观测等方法，使误差都小于10%，但所得视磁化率的值仍特别大 (表 2)。对此事实，我们检查了计算公式所假定的条件是否得到满足，即在剩磁特强的情况下，需要重新推导视磁化率的计算公式。

以往，在推导该公式时，并未考虑标本剩磁产生的退磁场对标本感应磁化强度的影响。实际上，强磁性标本的剩磁强度有时可达几个奥斯特 (表 2)，它在标本中的退磁场强度远大于地磁场的强度 (约 0.5 奥斯特)，因此不能不加以考虑。另外，铁磁性物质的磁化率是磁场的函数。当磁化场变化较大时，磁化率也有较大的变化。图 1 为各种岩石的磁化率在弱磁场中的变化情况。现在将标本剩磁对感应磁化的影响考虑在内，重新推导标本在高斯第一位置时，用磁秤法测定标本磁化率的计算公式。标本正倒两次放置，其计算

露头标本采取各种提高精度措施前后的磁性测量结果

表 2

标本号	磁化率和剩磁 (10^{-5} CGSM)	测定值		误差 (%)	Q (I_r/I_s)
		第一次	第二次		
M-4	κ'	339000	277000	10.1	16.7
	I_r'	2255000	2265000	0.2	
M-118	κ'	247000	214000	7.2	7.45
	I_r'	395000	766000	7.8	
M-124	κ'	244000	290000	8.8	36.8
	I_r'	4350000	3742000	7.5	
M-130	κ'	241000	251000	2.4	29.6
	I_r'	3460000	2980000	7.5	
M-136	κ'	306000	351000	7.8	29.8
	I_r'	4440000	3880000	6.7	
M-141	κ'	232000	211000	4.8	22.4
	I_r'	2910000	2500000	7.6	
T-228	κ'	280000	242000	7.3	34.8
	I_r'	4730000	4700000	0.3	

式为:

$$(n_1 + n_0) \varepsilon \cdot 10^{-5} = \frac{2V}{r^3} \cdot \frac{\kappa_1 Z_0 + I_r}{1 + N\kappa_1} \quad (2)$$

$$(n_2 - n_0) \varepsilon \cdot 10^{-5} = \frac{2V}{r^3} \cdot \frac{\kappa_2 Z_0 - I_r}{1 + N\kappa_2} \quad (3)$$

式中: n_1, n_2 为标本正倒两次引起的磁秤偏转格数; n_0 为零点读数; ε 为磁秤格值; V 为标本体积; r 为标本中心到磁秤的距离; N 为退磁系数; Z_0 为地球垂向磁场强度; κ_1, κ_2 为标本磁化率的值。

由于标本正倒两次放置时, 其内磁场受剩磁影响不同, 故其磁化率值亦不同。

按通常计算磁化率的运算方法, 将 (2)、(3) 两式相加后移项, 即可得出视磁化率 κ' :

$$\begin{aligned} \kappa' &= \frac{r^3}{V Z_0} \left(\frac{n_1 + n_2}{2} - n_0 \right) \varepsilon \cdot 10^{-5} \\ &= \left[\frac{\kappa_1}{1 + N\kappa_1} + \frac{\kappa_2}{1 + N\kappa_2} + \frac{N I_r (\kappa_2 - \kappa_1)}{(1 + N\kappa_1)(1 + N\kappa_2) Z_0} \right] \quad (4) \end{aligned}$$

由 (4) 式可见, 当 I_r 较小时, 标本正倒两次置放, 其内磁场变化不大, $\kappa_1 = \kappa_2$, 则式中第 3 项

$$\frac{N I_r (\kappa_2 - \kappa_1)}{(1 + N\kappa_1)(1 + N\kappa_2) Z_0} \rightarrow 0,$$

$$\kappa' = \frac{\kappa}{1 + N\kappa}, \text{ 即可导出 (1) 式}$$

$$\kappa = \frac{\kappa'}{1 - N\kappa'}$$

但当 I_r 很大时 ($I_r > Z_0$), 标本正倒两次置放, 其内磁场变化为 $2Z_0$, 对某些磁化率随磁场变化较大的铁磁性标本而言, $\kappa_1 \neq \kappa_2$, 而且 $\kappa_2 > \kappa_1$, 则 (4) 式中第 3 项不能忽略。由此算出的 κ_1 值比真值增大很多, 就会出现 $N\kappa' > 1$ 的情况。这就是标本经退磁改正后得出负磁化率值的原因。此时如按照通常计算剩磁的方法, 使式 (2) 减式 (3) 则得出视剩余磁

化强度 I' 如下式:

$$I'_r = \frac{r^3}{V} \left(\frac{n_1 - n_2}{2} \right) \varepsilon \cdot 10^{-5}$$

$$= \left[\frac{I_r}{1 + N\kappa_1} + \frac{I_r}{1 + N\kappa_2} - \frac{Z_0(\kappa_1 - \kappa_2)}{(1 + N\kappa_1)(1 + N\kappa_2)} \right] \quad (5)$$

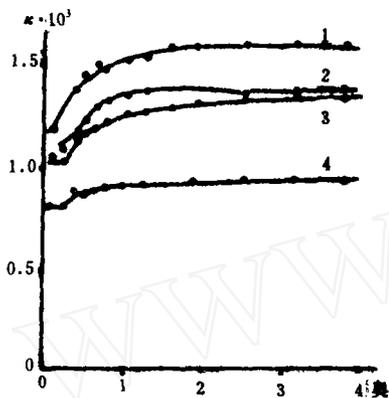


图1 在弱磁场中安山岩的磁化率 (κ)

- 1—含辉石的橄辉玄武岩; 2—橄辉玄武岩;
3—含二辉石的橄辉玄武岩; 4—含橄辉石的二辉安山岩

由(5)式可见,如由退磁改正公式 $I_r = I'_r \cdot (1 + N\kappa)^{-1}$ 算出的真剩余磁化强度 I_r , 会由于受(5)式中第3项的影响而显著减小。

为了验证剩磁对磁化率测定的影响,我们选择了四块磁铁矿标本做了不同剩磁情况下的磁化率测定试验。由表3可见,当标本剩磁很大时,四块标本中有三块的视磁化率都大于 240000×10^{-6} CGSM。可见剩磁对磁化率公式计算的影响不可忽视。所以对剩磁特强的标本,一定要退磁后才能测得较可靠的磁化率值。

感磁特强标本剩磁测定误差问题

对一些感磁特强的标本,剩磁的测定误差常常超过限度。虽采取了各项措施提高了观测精

会理拉拉厂富地磁铁矿标本磁性试验结果

表3

试验方法	磁参数 10^{-6} CGSM	标本号			
		34	37	30	31
原始测定值	I_r	114000	510000	316000	494000
	κ	176000	129000	103000	185000
退磁后测定值	I_r	29500	13900	45000	40700
	κ	168000	139000	187000	144000
重新磁化后测定值	I_r	551000	262900	1505000	1049700
	κ	278880	181300	267000	307000

度,但实际上误差仍达到100%以上。这说明还有未考虑的因素在内。

根据铁磁性物体的磁化理论,在地磁中把标本正向和反向置放,即相当于将标本放在地磁场中进行交变磁化。由此形成的磁滞回线不是固定

不变,而是略有变化(图2)。这就使每次测定的剩磁数值都不同,即 $I_{r1} \neq I'_{r1}$, $I_{r2} \neq I'_{r2}$ 。

这种变化对强度较大的感磁的影响虽微不足道,但对起始值并不大的剩磁来讲,干扰是很严重的。这就有可能导致测定剩磁的误差超过限度。

当剩磁较小时,可用一般的测定公式:

$$(n_1 - n_0) \varepsilon \cdot 10^{-5} = \frac{2V}{r^3} (I_{r1} + \kappa Z_0) \quad (6)$$

$$(n_2 - n_0) \varepsilon \cdot 10^{-5} = \frac{2V}{r^3} (-I'_{r1} + \kappa Z_0) \quad (7)$$

(6) 式减 (7) 式得

$$(n_1 - n_2) \varepsilon \cdot 10^{-5} = \frac{2V}{r^3} (I_{r1} + I'_{r1}) \quad (8)$$

由此即得第一次测定的剩磁平均值 \bar{I}_{r1}

$$\bar{I}_{r1} \frac{I_{r1} + I'_{r1}}{2} = \frac{r^3}{V} (n_1 - n_2) \varepsilon \cdot 10^{-5} \quad (9)$$

第二次重复测定得

$$\bar{I}_{r2} = \frac{I_{r2} + I'_{r2}}{2} = \frac{r^3}{V} (n_3 - n_4) \varepsilon \cdot 10^{-5} \quad (10)$$

由于 $I_{r1} \neq \bar{I}_{r2}$, 所以计算的百分误差为

$$\delta I = \frac{\Delta I}{I} = 2 \frac{\bar{I}_{r1} - \bar{I}_{r2}}{\bar{I}_{r1} + \bar{I}_{r2}} \quad (11)$$

此值有时很大, 可能会超出误差限度。

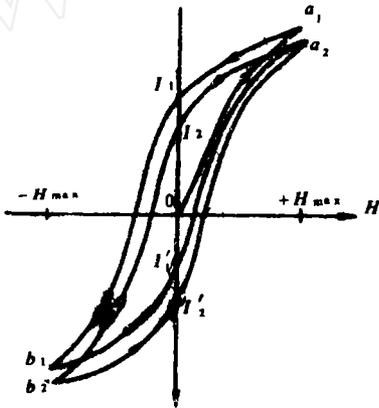


图2 铁磁性物体进行交变磁化时磁滞回线变化轨迹图

结 语

本文所列举的都是在铁矿区内测定强磁性标本时发现的一些“意外”情况。我们对这些“特殊的”标本只是做了初步的定性分析和一些简单的

试验。这对彻底解决问题显然还不够, 有必要进一步做深入的理论与定量试验工作, 以便找出规律, 用于岩石磁性测定, 使测量结果尽可能与实际情况符合。

目前磁法除用于圈定强磁异常直接找磁铁矿及其伴生之金属矿外, 还用来研究弱磁性控矿构造, 间接寻找某些其他金属矿床。要求对岩石磁性作更深入细致的研究。本文所讨论的问题所涉及的虽是强磁性岩、矿石, 但对弱磁性岩石的研究也有参考意义。

参 考 文 献

- [1] 永田武 (丁鸿佳译): 《岩石磁学》, 北京, 地质出版社, 1980年
- [2] 克鲁格, K. A. (俞大光等译): 《电工原理》, 东北教育出版社, 1952年
- [3] 杨诺夫斯基, B. M., (刘洪学, 周光秀译): 《地磁学》, 北京, 地质出版社, 1982年
- [4] 塔林, D. H., (古地磁学的原理和应用编译组译): 《古地磁学的原理和应用》, 北京, 科学出版社, 1978年

