

利用回归曲线法 研究岩矿石磁性初探

黄太岭

刘慧勤

(山东地质矿产局地科处) (山东省物化探勘查院)

提要 本文通过回归分析统计方法确立了胶东西部各种岩矿石剩磁和感磁的相关关系,求得了常见值处的相关系数 R 、相关直线斜率 b_1 及截距 b_0 , 根据 R, b_1, b_0 三个参数的特征变化, 探讨了岩矿石的蚀变和矿化特性, 拓宽了磁参数测定资料的应用范围。

1 问题的提出

在金矿高精度磁测资料研究中发现, 不同岩性中剩磁(\bar{J}_r)和感磁($\bar{J}_i = k\bar{T}$)的变化规律是不同的, 即使在同种岩性中, 因其矿化程度不同, 其磁性变化规律也不相同。剩磁与感磁分别反映了岩矿石磁性两个不同侧面的特征。剩余磁化强度和磁化率是岩矿石所固有的。前者是在岩矿石形成过程中, 受当时地磁场的作用, 铁磁性物质定向排列所致, 后者则和岩矿石内部的铁磁性矿物及其含量有关。它们之间具有某种联系, 这种联系反映了岩矿石内部磁性物质的分布规律及地质构造运动对它们的影响。建立它们之间的联系, 则是研究某些地质问题的一种方法。

2 建立剩磁与感磁联系的方法

利用回归分析的方法, 即以感磁作为自变量, 以剩磁作为因变量, 以回归分析统计方法为数学基础, 建立剩磁与感磁的相关关系。其具体方法为:

(1) 利用磁性实测结果, 建立回归方程组:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^0 & x_1^1 & x_1^2 & x_1^3 \\ x_2^0 & x_2^1 & x_2^2 & x_2^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n^0 & x_n^1 & x_n^2 & x_n^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$$

此文 1995-02 收到, 1995-05 改回。

式中： y_i, x_i 分别表示某一标本的剩磁和感磁；

n 为某种岩矿石的标本块数； a_0, a_1, a_2, a_3 为回归曲线方程系数。

(2) 依据上式，求出回归方程系数 a_0, a_1, a_2, a_3 ，并建立剩磁与感磁的相关关系式：

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$$

(3) 相关系数的计算，利用公式：

$$|R| = \sqrt{\frac{U}{L_{yy}}} = \sqrt{1 - \frac{Q}{L_{yy}}}$$

式中： $U = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2$ ，为回归平方和； $Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$ ，为剩余平方和； $L_{yy} = Q + U$ ； y_i 为某块标本的实测剩磁值； \hat{y}_i 为某块标本的回归计算值； \bar{y} 为某类标本的均值； n 为某类标本的块数。

求出相关系数。该数值位于+1与-1之间， $|R|$ 越接近于1，则自变量与因变量的关系越密切；若相关系数小（即接近零），则自变量与因变量的关系就不密切。

(4) 建立回归直线方程，即三次回归曲线在其常见值处的切线。其方程形式为：

$$y = b_0 + b_1x$$

式中： b_1 为回归直线的斜率； b_0 为截距。

3 参数意义分析

胶东西北部金矿化带围岩为变质岩类和花岗岩类。这两类岩石统计结果表明其总的特征是：回归曲线的相关系数大，相关直线斜率大，其截距多为负值。

就回归曲线而言，其相关系数的大小反映了剩磁与感磁的依赖程度，即剩磁的变化随感磁的变化而变化的相关程度。相关系数大，其依赖性就强，相关系数小，其依赖性就弱。从地质上来说，原岩中磁性物质排列未受地质构造运动及矿化蚀变等影响，其相关系数就大，反之则小。

相关直线的斜率，其物理意义是指岩矿石的剩磁与感磁间，剩磁随感磁变化而变化的速率。一般情况下，若原岩没有经过大的构造运动及蚀变矿化的影响，其相关直线的斜率就较大，反之，其斜率较小。引起这一现象的主要原因是，在岩石形成时，磁性物质受当时当地的地磁场作用，铁磁性物质发生定向排列的结果。铁磁性物质含量越多，其剩磁与感磁亦越强，表现为岩石的剩磁随感磁的变化而有较大的剩磁改变量的现象。若有大的构造运动及蚀变矿化作用的影响，使岩石内部铁磁性物质磁畴发生显著变化，亦即破坏了原岩中铁磁性物质的排列方向，剩余磁场减小且变得均匀，从而剩磁的变化随感磁的变化而改变的幅度较小。反映到相关直线斜率上，前者斜率较大，而后者斜率较小。

相关直线的截距，其物理意义是假设岩矿石感磁为零时剩磁的大小，亦即指去掉形成感磁的磁性物质，所剩磁畴对外界的总体作用。截距为负，表明该岩石磁畴排列方向一致性强的特点，也就是说该类岩石未经矿化蚀变或矿化蚀变作用不强。当然，截距是一种假设的概念，对于有磁性的岩矿石而言，其磁化率是不会为零的。

胶东西北部岩矿石回归分析参数表

岩矿石名称	采集地点	块数	回归曲线方程系数				回归直线方程系数			K ₀	J _∞	相关系数
			a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	b ₁	b ₀				
斜长角闪岩	王家沟南	30	-26.051	0.7016	-6.29 × 10 ⁻⁴	7.31 × 10 ⁻⁸	0.5924	-20.90	91.43	20.42 33.26	0.9728	
黑云片岩	南潘家	35	2.910	0.0101	-1.49 × 10 ⁻³	-2.07 × 10 ⁻⁶	0.1897	3.03	70.52	12.84 10.34	0.8859	
黑云二长花岗岩	鱼骨庄西	42	-1.609	0.123	7.05 × 10 ⁻⁴	-9.39 × 10 ⁻⁷	0.2189	-5.34	82.3	12.68	0.8078	
二长花岗岩	台子李家西	55	7.877	-0.065	1.37 × 10 ⁻³	-1.98 × 10 ⁻⁶	0.1674	-3.68	111.37	14.95	0.7482	
闪长玢岩	原家庄	42	0.589	0.098	-4.35 × 10 ⁻⁶	7.29 × 10 ⁻⁸	0.0893	1.082	151.79	13.34 14.64	0.7655	
花岗闪长岩	宋家庄子西	59	-57.46	0.732	-2.03 × 10 ⁻³	2.20 × 10 ⁻⁶	0.1151	4.43	336.63	43.19	0.7456	
二长花岗岩	董庄	31	-2.672	0.3597	-1.84 × 10 ⁻³	3.04 × 10 ⁻⁶	0.2801	-1.778	22.92	1.86 4.69	0.8946	
花岗闪长岩	隋家庄东	30	1.559	0.0094	4.24 × 10 ⁻⁴	-4.43 × 10 ⁻⁷	0.0347	0.3394	57.09	5.04 2.32	0.9254	
花岗岩	磨山	30	190.5	-0.4354	3.39 × 10 ⁻⁴	2.47 × 10 ⁻⁸	0.1160	-21.87	751.20	73.78 65.30	0.6286	
花岗闪长岩	前康家东	22	-0.7923	0.1749	5 × 10 ⁻⁴	-2.96 × 10 ⁻⁸	-	-	-	-	0.8829	
花岗闪长岩	金华山	30	356.0	-1.752	2.98 × 10 ⁻³	-1.43 × 10 ⁻⁶	0.3054	-113.1	629.04	79.91 79.03	0.7108	
花岗闪长岩	汪家东	30	112.2	-0.4678	6.3 × 10 ⁻⁴	-1.117 × 10 ⁻⁷	0.6141	-459.2	1265.6	318.01	0.8294	
中粒二长花岗斑岩	上庄北	41	10.82	0.3464	-1.02 × 10 ⁻³	1.178 × 10 ⁻⁶	0.0626	36.29	230.00	50.69	0.9552	
二长花岗片麻岩	王家沟南	22	-0.7891	0.1748	5.96 × 10 ⁻⁴	-2.96 × 10 ⁻⁸	0.1973	-1.027	22.73	2.07 3.45	0.8829	

非 矿 化 岩 石

续表 胶东西北部花岗岩回归分析参数表

岩矿名称	采集地点	块数	回归曲线方程系数			回归直线方程系数			k ₀	J _{no}	相关系数
			a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	b ₁	b ₀			
非 矿 化 岩 石	混合花岗岩	33	80.7302	-0.8549	3.2 ×10 ⁻³	-2.9 ×10 ⁻⁴			287.81	28.34	0.7954
	混合花岗岩	39	11.56	-0.1462	1.41 ×10 ⁻³	-1.89 ×10 ⁻⁴	0.1483	-7.336	150.05	16.94 14.91	0.8481
	中粒混合花 岗岩	53	4.432	0.0112	8.998 ×10 ⁻⁴	-1.92 ×10 ⁻⁴	0.1424	-1.676	115.98	13.93 14.84	0.7259
	花岗岩碎裂岩	30	91.19	-16.24	9.44 ×10 ⁻¹	-1.76 ×10 ⁻³	0.5480	-8.087	16.84	1.07 1.14	0.4703
蚀 变 碎 裂 岩 及 矿 石	黄铁绢英岩	41	0.6386	-0.0468	3.758 ×10 ⁻³	-7.45 ×10 ⁻⁵	0.00903	0.3792	11.11	0.47	0.1333
	黄铁绢英岩 碎裂花岗岩	50	0.2191	0.1346	4.30 ×10 ⁻²	5.16 ×10 ⁻⁴	0.1349	0.2187	2.80	0.43 0.53	0.2919
	黄铁绢英岩	63	0.6683	-0.0395	5.15 ×10 ⁻³	-2.51 ×10 ⁻⁴	-0.00424	0.5879	7.08	0.55 0.18	0.1011
	绢英岩化碎 裂状花岗岩	31	0.7271	-0.0299	5.5 ×10 ⁻⁴	1.32 ×10 ⁻⁴	-0.0025	0.607	7.06	0.58 0.17	0.2904
	绢英岩化碎 裂状花岗岩	34	0.5933	-0.0325	5.43 ×10 ⁻²	-1.6 ×10 ⁻⁴	0.02454	0.4024	8.26	0.27	0.3153
	绢英岩化碎 裂状花岗岩	40	1.1033	-0.2374	2.52 ×10 ⁻²	-6.96 ×10 ⁻⁴	-0.0647	0.7710	4.12	0.50 0.09	0.3289
	黄铜矿化石英岩	8	0.8723	0.1457	-2.28 ×10 ⁻²	1.06 ×10 ⁻³	0.0982	0.898	1.13	1.00 2.98	0.3834
	黄铁绢英岩 化碎裂岩	40	0.7812	-0.2391	5.5 ×10 ⁻²	-9.7 ×10 ⁻⁴	0.04934	0.3894	2.79	0.52	0.2657

注:1. 回归方程为三次方程,方程形式为 $y=a_0+a_1x+a_2x^2+a_3x^3$,a₀为常数项,a₁,a₂,a₃分别为一、二、三次项系数;2. 回归直线为三次回归曲线在常见值处的切线,其方程形式为 $y=b_0+b_1x$,b₁为直线的斜率,b₀为截距;3. k₀为磁化率常见值,J_{no}第一行为剩磁率常见值,第二行为利用相关关系直线计算所得。

4 统计结果

笔者选取胶东西北部实测岩矿石物性标本 961 块,计 17 种岩性、26 组数据,进行统计计算,其结果见回归分析参数表。从表中可看出:

(1)非矿化岩石的回归特征:该区金矿化带的围岩主要为变质岩类和花岗岩类,其回归曲线的相关系数基本上都在 0.71 以上,一般为 0.8—0.9,最高为王家沟南所采集的斜长角闪岩,达 0.9728,其次为上庄北的中粒二长花岗斑岩和隋家庄东的花岗闪长岩,分别为 0.9552 和 0.9254,均大于 0.9。这表明,非矿化岩石的剩磁与感磁相关性强,岩石中磁性物质的排列未受大的构造运动及矿化蚀变的影响。

从表中还可看出,非矿化岩石的回归直线斜率均较大,一般都超过 0.1,斜长角闪岩的回归直线斜率为 0.5924,花岗闪长岩在不同的采集地点,其回归直线斜率有差异,变化范围为 0.12—0.61,最小值为隋家庄东采集的标本,为 0.0347,推测可能为矿化作用影响所致;混合花岗岩回归直线斜率为 0.15—0.20;闪长玢岩脉的回归直线斜率为 0.0893,均表现出了非矿化岩石回归直线斜率较大的特征。

非矿化岩石类的第三个回归特征,是其回归直线的截距均较小,多数为负值。如斜长角闪岩的截距为-2.09,黑云二长花岗岩的为-5.34,汪家东花岗闪长岩的为-459.2,前康家东花岗闪长岩的回归直线截距为-113.1,这表明了这类岩石的内部磁性物质排列的单向性。

(2)矿化岩石和矿石的回归特征:该区矿化岩石或矿石的岩性主要为黄铁绢英岩、黄铁矿化碎裂状花岗岩、黄铜矿化(脉)石英岩、绢英岩化碎裂状花岗岩及黄铁绢英岩化碎裂岩等。它们的相关系数均较小,一般在 0.1—0.3 之间,不超过 0.4。如红布金矿的黄铁绢英岩相关系数为 0.1011,东季金矿-175m 标高处的绢英岩化碎裂状花岗岩,其相关系数为 0.3289,为正常岩石的 1/2—1/4。这表明了其剩磁的变化随感磁的变化而改变的幅度不大,岩矿石内部磁性物质排列较不规则,从而指示了该处构造运动和矿化蚀变作用较强。

矿化岩石和矿石的第二个回归特征,是其回归直线的斜率较小,一般在零附近变化。如东季金矿的绢英岩化碎裂状花岗岩,在+10m 标高处采集的标本,其回归直线的斜率为-0.0025,-20m 标高处该岩石的回归直线斜率为 0.02454,而-175m 标高处的斜率为-0.00647;黄铁绢英岩的回归直线斜率,马塘金矿的为 0.00903,红布金矿的为-0.00424;仓上金矿的黄铁绢英岩化碎裂岩,其回归直线斜率为 0.0493。这表明矿化岩石或矿石中的剩磁的均匀性,即较原岩而言,其剩磁减小且较均匀。

这类岩矿石的第三个回归特征,是其回归直线的截距均大于零而小于 1。最大者为拉格庄西的黄铜矿化石英岩,其回归直线截距为 0.898,东季金矿-175m 标高的绢英岩化碎裂状花岗岩的截距为 0.7710,最小者为龙埠金矿黄铁绢英岩化碎裂岩,其回归直线截距为 0.2187,其余均在约 0.4—0.6 左右。这一现象再次表明,矿化岩石及矿石的剩磁较小且均匀,进一步推测出磁性物质分布的非单一性,即矿化蚀变作用破坏了原岩内部的磁畴排列,使其变得杂乱。

5 方法应用

上述参数意义及统计结果表明,岩矿石剩磁与感磁的相关系数、回归直线的斜率及截距分别从不同侧面反映出了其内部磁性物质的变化及分布状况、构造运动及蚀变矿化活动状况,这就为研究地质构造运动及蚀变矿化作用提供了新的地球物理信息,这些信息可在如下几个方面发挥一定作用。

(1)利用该方法,将岩矿石的剩磁与感磁这两个参数转为一个数学公式表示,使两者有机结合为一体,能将物性参数的研究工作进一步扩展。剩磁与感磁的测定,一般只能提供磁测资料的解释依据,而建立起它们之间的相关关系式之后,则能在研究地质构造运动及蚀变矿化作用方面提供信息。

(2)利用这三个参数,判断岩石所经受的构造运动和矿化作用。一般地讲,未经大的构造运动及矿化蚀变的岩石,其相关系数较大,回归直线的斜率较大、截距较小且多为负值;反之,相关系数较小,回归直线的斜率较小,在零左右,截距为大于零、小于1。

(3)配合磁测资料,进行金矿产预测。在磁测工作(尤其是高精度磁测工作中),按照不同磁场特征及不同特征磁异常,分别系统地采集磁性标本,建立起剩磁与感磁的相关关系,既可为研究区域性构造提供依据,又可为判断局部矿化情况提供信息,再结合地质及其他物化探资料进行成矿预测,能够收到较好效果。

A PRIMARY ATTEMPT OF USING REGRESSION CURVE METHOD TO STUDY THE MAGNETIC PROPERTIES OF ROCK AND ORE

Huang Tailing

(The Geological Branch, Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources)

Liu Huiqin

(Shandong Geophysical and Geochemical Prospecting Institute)

Abstract

Through regression analysis statistics the paper determines the correlations of remnant with induced magnetization in different rocks and ores in Western Jiaodong region. The correlation coefficient (R) of high frequency values and the slope (b_1) and intercept (b_0) of the correlation line are calculated. Based on the regular changes of above three parameters R , b_1 and b_0 the alteration and mineralization natures of the rocks and ores are studied and thereby the application fields of measurement results of magnetic parameters are enlarged.