

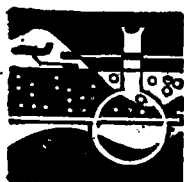
# 岩石的磁各向异性及其在地质上的应用

徐柏安

(中南冶金地质研究所)

本文阐述了岩石磁各向异性的表示方法, 三大类岩石磁各向异性的一般特征, 控制因素及其在地质上的应用。介绍了鄂东南地区侵入岩的磁各向异性特征及其应用的研究成果。

**关键词** 岩石磁各向异性; 磁组构; 地质应用; 鄂东南



物探与化探

研究岩石的磁各向异性的意义在于: ①在勘探地球物理学方面, 岩石的磁各向异性明显地影响物探异常的形态特征。研究磁各向异性条件下磁异常的正、反演方法, 有助于对磁各向异性体的正确推断解释; ②在古地磁方面, 具有磁化率各向异性的岩石, 其感应磁化强度方向与外磁场方向不同, 因此, 它的剩余磁化强度方向偏离地球古磁场方向。研究岩石的磁各向异性特征, 有助于更好地利用古地磁数据。③在地质学方面, 由于任何岩石都具有不同程度的磁各向异性, 它可不同程度地反映成岩过程和成岩后的地质作用特点。所以, 可直接利用岩石的磁各向异性, 解决某些地质问题。本文结合国内外研究成果, 侧重讨论岩石磁各向异性在地质学上的应用, 并介绍了我们在鄂东南地区对侵入岩的研究成果。

## 磁各向异性岩石的磁化率特征及有关概念

磁各向异性岩石的磁化率特征不是一个标量, 而是一个二阶实对称张量, 具有如下形式:

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix} \quad (\text{其中 } K_{ij} = K_{ji}, i \neq j)$$

$K_{ij} (i, j = 1, 2, 3)$  称为磁化率张量  $(K)$  的支量。

由于  $(K)$  是一个实对称张量, 故可对上式进行

适当的变换, 如正交变换, 使  $(K)$  变成如下的对角矩阵形式:

$$[K] = \begin{bmatrix} K_1 & 0 & 0 \\ 0 & K_2 & 0 \\ 0 & 0 & K_3 \end{bmatrix}$$

支量  $K_1, K_2, K_3$  称为主轴磁化率 (或磁化率张量主值), 其对应的方向称为主轴方向 (或磁化率张量主方向)。  $K_1, K_2, K_3$  中最大者、中间者、最小者分别称为最大磁化率 ( $K_{\max}$ )、中间磁化率 ( $K_{\text{int}}$ ) 和最小磁化率 ( $K_{\min}$ ), 其所对应的方向分别称为最大磁化率方向、中间磁化率方向和最小磁化率方向。

以  $1/\sqrt{K_1}, 1/\sqrt{K_2}, 1/\sqrt{K_3}$  为半长轴的椭球称之为磁化率椭球; 以  $K_1, K_2, K_3$  为半长轴的椭球称之为磁化率数值椭球。

## 岩石的磁性组构及其表示方法

岩石磁性组构的涵义是将岩石磁化率的特征表示为岩石磁化率椭球的方向和形状。磁化率椭球方向 (即主轴方向) 的表示方法通常采用下半球的赤平极射投影。磁化率椭球形状的表示方法可以采用两种方式, 一是计算各种特征参数; 二是建立参数间的关系图 (即磁各向异性图)。

### 1. 磁组构研究中的各种磁各向异性参数的常用计算方法

(1) 平均磁化率  $K_m$

①几何平均:  $K_{m1} = (K_{max} \cdot K_{int} \cdot K_{min})^{1/3}$

②算术平均:  $K_{m2} = \frac{1}{3}(K_{max} + K_{int} + K_{min})$

### (2) 磁各向异性度 $P$

磁各向异性度表明岩石中铁磁性矿物择优取向的程度,常用的计算方法有:

①Nagata算法(1961)(按比值计算)

$$P = K_{max}/K_{min}$$

②Jelinek算法(1981)

$$P' = \exp \sqrt{2[(\eta_1 - \eta)^2 + (\eta_2 - \eta)^2 + (\eta_3 - \eta)^2]}$$

其中:  $\eta_1 = \ln K_{max}$ ,  $\eta_2 = \ln K_{int}$ ,  $\eta_3 = \ln K_{min}$ ,  $\eta = \frac{1}{3}(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3)$ 。

该算法的特点是考虑了中间磁化率  $K_{int}$ 。

### (3) 磁性线理 $L$

磁性线理表示岩石中铁磁性矿物线性—平行取向的强度,与最大磁化率方向一致。常用的是Balsley和Buddington的计算方法(1960):

$$L = K_{max}/K_{int}$$

### (4) 磁性叶(面)理 $F$

磁性叶理表示岩石中铁磁性矿物平面—平行取向的强度,与最小磁化率方向垂直,常用的计算方法有:

①Stacey算法(1960)

$$F = K_{int}/K_{min}$$

②Khan算法(1962)

$$F' = (K_{int} - K_{min})/K_{m2}$$

### (5) 椭球形状

①椭球偏心率 磁性叶理相对磁性线理的发育程度称为磁化率椭球的偏心率,常用参数  $E^{(1)}$  和  $m^{(2)}$  来描述,  $E$ 、 $m$  分别具有如下形式:

$$E = K_{int}^2 / (K_{max} \cdot K_{min})$$

$$m = (K_{int} - K_{min}) / (K_{max} - K_{int})$$

②形状因素  $T$

$$T = 2(\eta_2 - \eta_3) / (\eta_1 - \eta_3) - 1$$

其中  $\eta_1$ 、 $\eta_2$ 、 $\eta_3$  的意义如(2)中所述。

参数  $T$  表示磁化率椭球的形状,其数值从-1(旋转的扁长数值椭球)经0(中性数值椭球——具有同等发育的磁叶理和磁线理)变到+1(旋转的扁圆数值椭球)。

## 2. 磁各向异性图

有两种类型的磁各向异性图。第一类磁各向异性图采用磁线理  $L$  作为纵坐标、磁叶理  $F$  作为横坐

标,类似于构造地质学中的形变图;第二类磁各向异性图采用形状因素  $T$  作为纵坐标,磁各向异性度  $P$  或  $P'$  作为横坐标,如图1所示。第一类磁各向异性图适宜于处理形变岩石的磁各向异性,因为它同形变图相似,因而能够定性分析形变图与磁各向异性图以及应变椭球形状与磁化率椭球形状之间的相互关系。当主要对磁各向异性度感兴趣时,则第二类磁各向异性图更为合适,因为它明显地表示了磁各向异性度。在磁各向异性图中,某一特定地质单元的磁各向异性图所占据的面积称为磁各向异性域。在第一类图形中通过原点的单位斜率直线( $L=F$ )和在第二类图形中的  $T=0$  的水平直线把主要为扁长状椭球体与扁圆椭球体分开,用磁组构的术语,即把压扁域与收缩域分开。

## 三大类岩石磁各向异性的一般特征、控制因素及研究意义

### 1. 沉积岩

在一般情况下,沉积岩的磁各向异性相对较弱(图1),其磁各向异性度  $P'$  小于1.1,磁化率椭球主要呈扁长状。

沉积岩的磁各向异性主要受沉积过程所控制,影响其中磁性颗粒取向的因素主要有三个方面:一是地球引力作用。它使得矿物颗粒以其较大表面置

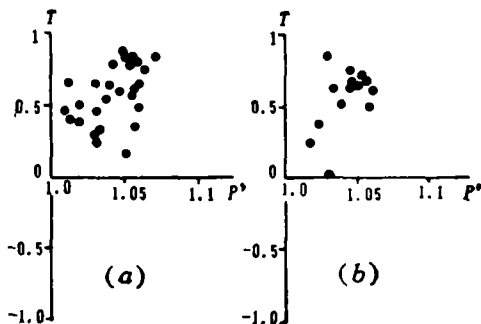


图1 沉积岩的磁各向异性图

(a) 含磁铁矿沉积岩; (b) 含赤铁矿沉积岩<sup>〔1〕</sup>

于平坦的、且平行于沉积盆地底部的沉积表面沉积。如果底面是微倾斜的,颗粒可能沿底面滚动,使它的长轴平行于等高线定向;对于更陡的倾斜,则颗粒的长轴平行于倾向方向定向。二是水流作

用。它使得矿物颗粒的长轴平行于流线定向,如果水流较急,一些颗粒可能滚动并使其长轴的取向垂直于流向(不过这种横向定向较沿流线定向少)。三是地球磁场作用。它使铁磁性颗粒的长轴平行于当地地磁场子午线方向定向。一般情况下,水流作用是主要的,这时地磁场只对直径小于0.03mm的铁磁性矿物颗粒取向有影响。

研究表明:主轴磁化率方向同沉积岩外部构造(基底印痕、流痕、槽沟痕)方向及内部构造(交错层理、流痕纹理、对称及非对称印痕)方向关系密切,未变形的沉积岩的磁性组构与原始的岩石组构一致,因此通过研究沉积岩的磁各向异性,可以帮助了解沉积岩在沉积过程中的某些地质信息(如沉积物质的来源、沉积物质的搬运方向以及沉积方式等)。进而为寻找各类沉积矿床提供依据。如磁各向异性在研究沉积盆地古水流的方向上取得了较好的效果,Hamilton和Rees对苏格兰Kingussie冰河沉积磁各向异性进行了详细的研究。其结果表明磁线理方向同河床轴向平行。

## 2. 火成岩

火成岩分为火山岩和侵入岩两大类。由于它们的成因有所不同,一是岩浆喷发活动的产物,一是岩浆侵入活动的产物,因此它们的磁各向异性特征也有所不同。

(1) 火山岩 火山岩的磁各向异性相对较弱( $P' < 1.1$ )——同沉积岩磁各向异性强度差不多,且变化范围小(图2)。

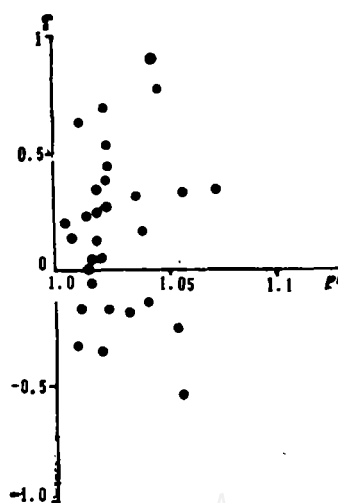


图2 火山岩的磁各向异性图<sup>[1]</sup>

火山岩的磁各向异性主要受熔岩流所控制,熔岩流动使其中的铁磁性矿物颗粒发生定向,导致磁各向异性的产生。研究火山岩的磁各向异性,可以通过磁化率主轴方向同熔岩流向的对应关系,确定熔岩的流动方向和火山岩体的产状。

(2) 侵入岩 如图3所示,侵入岩的磁各向异性变化非常大,磁各向异性度从类似于火山岩和沉积岩的非常低值变到特别高值,最终超过2。Hroudá曾分析过这种变化的原因:①具有流动组构并且由于岩浆流动导致其定位的侵入岩的磁各向异性域,由低磁各向异性来表征,并且在很大程度上覆盖火山岩的磁各向异性域,因此可以认为低磁

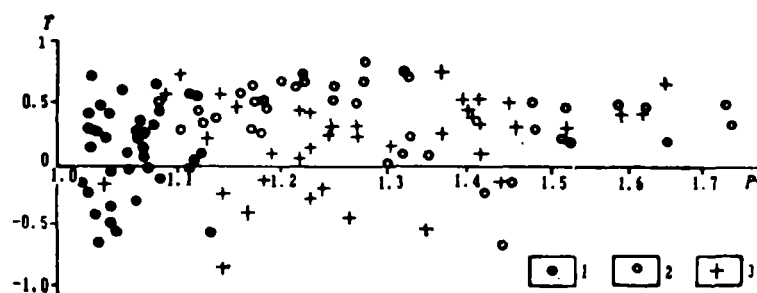


图3 侵入岩的磁各向异性图

1—具有流动磁组构的侵入岩; 2—具有形变磁组构的侵入岩; 3—具有磁铁矿拟结晶组构的侵入岩

各向异性的侵入岩具有由于岩浆活动所形成的磁组构。②同深变质岩带伴生的正片麻岩及花岗岩的磁各向异性域范围非常大,并且这些岩石的磁各向异性度比较高,其磁组构不完全由岩浆的流动所形

成,可塑性形变对其形成可起相当大的作用。③侵入岩中还有一类具有很高的磁各向异性度且同时具有很高的磁化率的岩石,这类岩石中的磁铁矿比其周围的硅酸盐矿物年青且取晶粒间(更多是叶理

间)的空穴为其形状,显然这种拟结晶(后构造结晶)形成的磁铁矿颗粒都是不等轴的,因而导致岩石具有强的磁各向异性。

侵入岩主轴磁化率方向同组构单元方向之间的关系可以归纳为:①具有流动磁组构的侵入岩的主轴磁化率方向同由流动岩浆所确定的组构单元有关;②具有形变磁组构的侵入岩的主轴磁化率方向同形变组构单元有关;③具有拟结晶磁组构的岩石,其主轴磁化率方向同那些由磁铁矿所反映的组构单元方向有关。利用侵入岩磁化率椭球的这些方向特征和图3所示的数值特征,通过对侵入岩磁各向异性的研究,可以了解岩浆的侵入方向、岩体产状、应力场特征、可塑性形变程度以及拟结晶程度等地质问题。

### 3. 变质岩

变质岩的磁各向异性更为复杂。它不仅与原岩有关,而且在一定范围内还与变质程度有关。图4是根据区域变质程度增强次序所表示的各种类型区域变质岩的磁各向异性图。从图可以看出,不论是

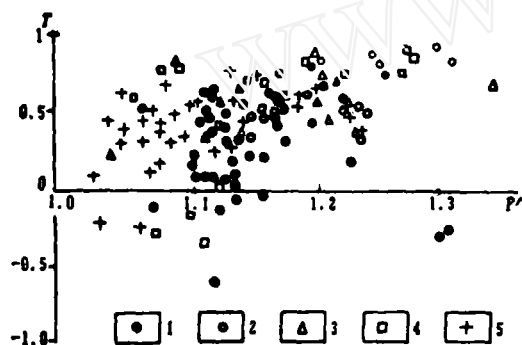


图4 某些变质岩的磁各向异性图

1—板岩; 2—千枚岩; 3—云母片岩; 4—片麻岩; 5—角闪岩<sup>[1]</sup>

低级变质的板岩、千枚岩,中级变质的云母片岩,还是高级变质的片麻岩和角闪岩,它们的磁各向异性域都是不等轴的,并有一定的变化范围。比较图1和图4可以清楚地看出,即使是变质程度很低的岩石,其磁各向异性度也明显地比沉积岩的磁各向异性度高。另外从图4还可以看出,虽然云母片岩、片麻岩及角闪岩的变质程度均比千枚岩高,但它们的磁各向异性度并不比千枚岩的高。对这种高级变质岩的磁各向异性度与其变质程度无关的特征,Hrouda作了如下解释:深变质岩中铁磁性矿物定向机制几乎保持恒定,而与变质程度无关。所

以变质程度只在一定范围内影响磁各向异性的大小。

研究表明,在低级变质岩中,磁叶理平行于板状劈理或变质片理,磁线理通常平行于不同成因类型的物理线理;在高级变质岩中,磁叶理通常平行于片理,而磁线理平行于由空间定向的硅酸盐颗粒所确定的线理。这些特征对于我们研究变质岩中劈理或片理的成因以及区域变质程度与地质问题无疑是十分有意义的。

必须指出的是任何岩石的磁各向异性不仅与成岩过程有关,而且与成岩后的应力过程(或塑性形变)有关。研究表明:强烈形变的岩石组构(或应力)与磁组构之间有如下关系:

(1) 磁化率椭球与岩石组构单元(片理、矿物线)共轴。

(2) 磁化率椭球主轴以一一对应的形式与总应力椭球共轴。

(3) 磁化率椭球和应力形态之间存在某种幂函数关系。

因此,研究以形变磁组构为主的岩石磁各向异性可以揭示与形变过程有关的构造应力场特征。

## 鄂东南侵入体的磁各向异性特征及其地质应用

我们对鄂东南地区的一些主要侵入岩体(鄂城、铁山、金山店、灵乡、殷祖、阳新、封山洞、铜鼓山以及铜山口等岩体)进行了不同程度的采样。采样时,以磁罗盘或太阳罗盘定向,主要采集手标本,然后加工成 $2.25 \times 2.5\text{cm}$ (高 $\times$ 直径)的小圆柱体进行测试。全部测试工作均在国家地震局地球物理研究所的Minisep磁力仪上进行,由于该仪器配带有计算机(HX-20),对测量结果进行了自动处理,我们不需做任何中间计算,即可得到主轴磁化率和主轴方向的全部数值。表1—4所列为每个采样位置的磁各向异性经过统计整理后所得到的平均特征。

由表可知:鄂东南侵入体的磁各向异性度变化较大,从1.012(金山店岩体选矿场附近)变到1.459(铁山岩体白雉山处)。这种变化特征也可以用图5形象地表示出来。虽然如此,磁各向异性度超过1.2的地方并不多,只有铁山的白雉山、象鼻山和灵乡的大广山三处,磁各向异性度小于1.1

郭城岩体磁各向异性特征

表 1

| 采样点 | 岩 性     | 数 值 特 征              |                      |                      |                |                |                | 方向特征 (偏角, 倾角) |            |             |
|-----|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|------------|-------------|
|     |         | $\overline{K}_{max}$ | $\overline{K}_{int}$ | $\overline{K}_{min}$ | $\overline{P}$ | $\overline{L}$ | $\overline{F}$ | 最大磁化率轴        | 中间磁化率轴     | 最小磁化率轴      |
| 大鹰山 | 石英二长花岗岩 | 329.3                | 323.7                | 315                  | 1.045          | 1.017          | 1.028          | 306.6, 28     | 60.1, 48.6 | 203.61.1    |
| 马鞍山 | 角闪石闪长岩  | 2400                 | 2285                 | 2110                 | 1.130          | 1.051          | 1.083          | 86.9, 75.0    | 54.6, 47.8 | 242.1, 77   |
| 广山  | 夕卡岩     | 322.6                | 314.2                | 308.3                | 1.046          | 1.027          | 1.019          | 53.7, 42.3    | 107.65.8   | 318.2, 20.4 |
| 李村  | 角闪石闪长岩  | 2574                 | 2521                 | 2463                 | 1.045          | 1.021          | 1.024          | 359.5, 73.9   | 84.1, 57.4 | 126.7, 79   |

铁山岩体磁各向异性特征

表 2

| 采样点 | 岩 性   | 数 值 特 征              |                      |                      |                |                |                | 方向特征 (偏角, 倾角) |             |             |
|-----|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|-------------|-------------|
|     |       | $\overline{K}_{max}$ | $\overline{K}_{int}$ | $\overline{K}_{min}$ | $\overline{P}$ | $\overline{L}$ | $\overline{F}$ | 最大磁化率轴        | 中间磁化率轴      | 最小磁化率轴      |
| 铜灶  | 花岗闪长岩 | 242.7                | 239.8                | 236.6                | 1.026          | 1.012          | 1.014          | 171.1, 84     | 15.6, 14.3  | 12.1, 65.4  |
| 铜坑  | 蚀变闪长岩 | 748.9                | 726.5                | 684.9                | 1.093          | 1.031          | 1.061          | 117.2, 67.6   | 294.5, 26.2 | 266.4, 42.4 |
| 白雉山 | 闪长岩   | 1420                 | 1279                 | 973                  | 1.459          | 1.11           | 1.514          | 267, 65       | 89, 23      | 182, 20.5   |
| 象鼻山 | 蚀变闪长岩 | 2346                 | 2011                 | 1709                 | 1.37           | 1.17           | 1.18           | 265, 74       | 127, 79     | 178, 67     |

灵乡岩体磁各向异性特征

表 3

| 采样点 | 岩 性   | 数 值 特 征              |                      |                      |                |                |                | 方向特征 (偏角, 倾角) |         |         |
|-----|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------|---------|
|     |       | $\overline{K}_{max}$ | $\overline{K}_{int}$ | $\overline{K}_{min}$ | $\overline{P}$ | $\overline{L}$ | $\overline{F}$ | 最大磁化率轴        | 中间磁化率轴  | 最小磁化率轴  |
| 蜡烛山 | 闪长岩   | 714.2                | 685.5                | 648.2                | 1.102          | 1.042          | 1.058          | 189, 77       | 325, 85 | 6, 56   |
| 大广山 | 闪长岩   | 1149                 | 939                  | 876                  | 1.311          | 1.224          | 1.072          | 189, 47       | 1, 43   | 37, 69  |
| 张斌山 | 闪长岩   | 197                  | 192                  | 190                  | 1.037          | 1.025          | 1.012          | 200, 44       | 238, 84 | 124, 75 |
| 螺丝山 | 闪长岩   | 38.7                 | 37.9                 | 36.9                 | 1.049          | 1.021          | 1.027          | 297, 36       | 59, 32  | 212, 70 |
| 刘文  | 闪长岩   | 54.8                 | 52.4                 | 50.6                 | 1.083          | 1.046          | 1.036          | 76, 71        | 295, 22 | 203, 34 |
| 铁子山 | 硅化闪长岩 | 2552                 | 2478                 | 2359                 | 1.082          | 1.03           | 1.06           | 164, 58       | 312, 78 | 48, 59  |
| 广山  | 硅化闪长岩 | 1936                 | 1907                 | 1851                 | 1.046          | 1.015          | 1.031          | 69, 63        | 68, 82  | 251, 31 |

金山店、殷祖、阳新、封山洞、铜山口等岩体的磁各向异性特征

表 4

| 采 样 点      | 岩 性    | 数 值 特 征              |                      |                      |                |                |                | 方向特征 (偏角, 倾角) |         |         |
|------------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------|---------|
|            |        | $\overline{K}_{max}$ | $\overline{K}_{int}$ | $\overline{K}_{min}$ | $\overline{P}$ | $\overline{L}$ | $\overline{F}$ | 最大磁化率轴        | 中间磁化率轴  | 最小磁化率轴  |
| 金山店<br>岩 体 | 选矿场    | 913.7                | 908.4                | 902.5                | 1.012          | 1.006          | 1.065          | 29.6, 55      | 178, 56 | 315, 57 |
|            | 余华寺    | 530                  | 526                  | 520                  | 1.02           | 1.008          | 1.011          | 204, 45       | 136, 81 | 19, 44  |
| 殷祖岩体       | 二长花岗岩  | 4000                 | 3698                 | 3562                 | 1.123          | 1.082          | 1.038          | 163, 51       | 314, 58 | 293, 76 |
| 阳新岩体       | 闪长岩    | 2677                 | 2507                 | 2353                 | 1.138          | 1.068          | 1.066          | 351, 69       | 213, 6  | 351, 79 |
| 封山洞岩体*     | 花岗闪长岩  | 3468                 | 3342                 | 3236                 | 1.072          | 1.038          | 1.033          |               |         |         |
| 铜山口岩体      | 花岗闪长斑岩 | 314                  | 298                  | 269                  | 1.166          | 1.053          | 1.107          | 132, 54       | 319, 56 | 350, 68 |

\* 未定向标本。

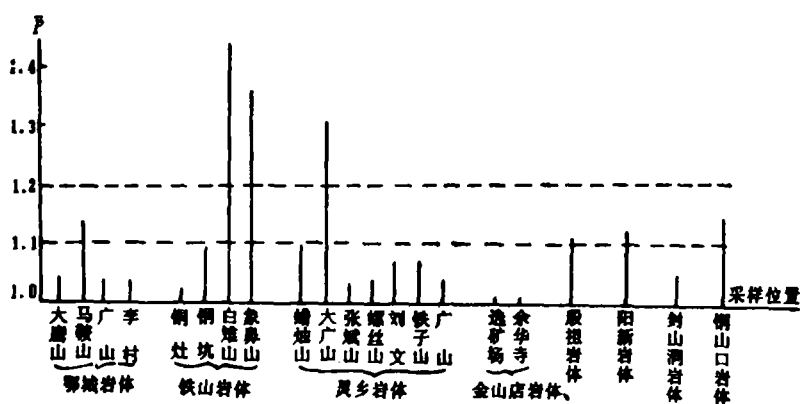


图 5 磁各向异性分布图

的地方仍占多数。从整体上看,鄂东南侵入体磁性结构的成因比较单一,即主要来源于岩浆的流动,只部分岩体在局部受到塑性形变作用或拟结晶作用,从而使其磁各向异性度有所增加。这种磁各向异性特征间接地反映了该地区的成岩作用特点。铁山岩体南缘的白雉山、象鼻山以及鄂城岩体的马鞍山等处都有很高的磁各向异性度,其成因除岩浆流动使磁铁矿发生定向外,岩石的塑性形变也起了主要作用。灵乡岩体大广山闪长岩和铜山口岩体花岗闪长斑岩,则因不同程度地发生了重结晶作用,而具有很高或较高的磁各向异性度。在阳新岩体以及殷祖岩体采样的地方也发现类似特征。

当岩体的磁各向异性主要由岩浆流动形成时,磁性结构与流动结构之间具有对应关系,根据磁化率主轴方向特征可以了解岩浆的流向及岩体的产状等地质问题。从图 5 可以看出,鄂城李村、广山、大鹰山等处的岩石,铁山铜坑、铜灶两处的岩石以及金山店选矿场、余华寺两处的岩石,它们的磁各向异性度都很小,可以认为主要是由岩浆流动形成,因此它们的磁各向异性特征必然反映岩浆流动时的特点。研究表明:鄂城大鹰山处磁线理方向(即最大磁化率轴方向)比较集中,近于北西方向,而且最大磁化率轴的倾角很小(见表 1),说明岩浆在大鹰山处几乎呈水平状态向北西方向延伸,即该处岩体处于超覆状态,这一特征,通过对比岩体出露界线和航磁化极异常(图 6)的分布特点也可看出。该处磁叶理也比较集中,叶理面走向为南西 $23^{\circ}$ ,与流面的走向一致。而李村的最大磁化率轴倾角较大,近于垂直(见表 1),可见此处

岩浆几乎是垂直上升的。如图 7 为鄂城李村一大鹰山综合剖面示意图。图 3 为铁山岩体铜坑处岩石磁

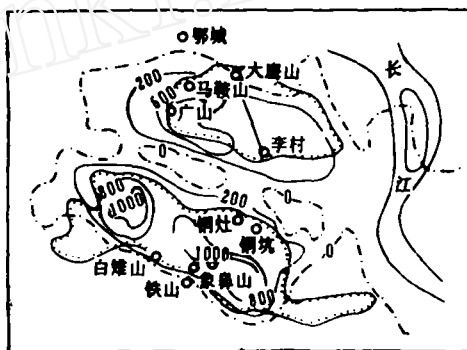


图 6 鄂城—铁山岩体及航磁化极异常  
(单位:伽玛)

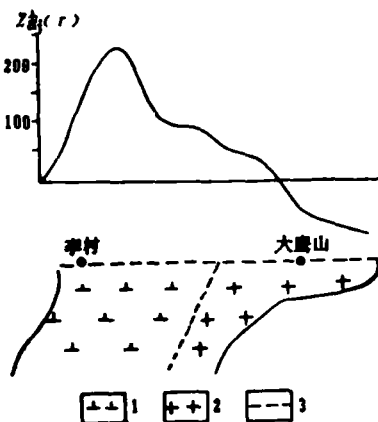


图 7 鄂城李村—大鹰山地质剖面及航磁化极局部异常

1—闪长岩; 2—花岗岩; 3—剥蚀线及岩体界线

化率主轴方向的乌尔夫投影。其磁线理非常集中，与岩体走向平行，反映了岩浆在该处沿近于东南方向向东流动的特点，最后岩体在末端也呈超覆状态（见图6）。金山店岩体的两个采样位置的最大磁化率轴方向非常接近北北东向，与岩体走向几乎垂直，倾角近于 $45^\circ$ 。在金山店岩体西南缘存在隐伏的陈家庄岩体（图9），综合地球物理场特征，可

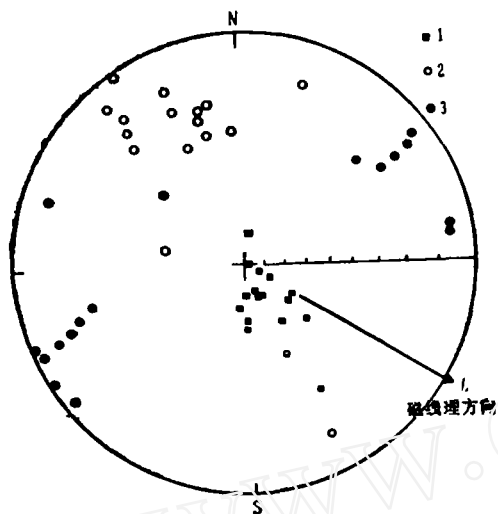


图8 铁山岭航磁化率主轴方向的乌尔夫投影

1—最大磁化率轴方向；2—中间磁化率轴方向；  
3—最小磁化率轴方向

以认为金山店岩体是陈家庄岩体的出露部分，是岩浆沿北北东向，呈 $45^\circ$ 左右的倾角向上侵入而形成的。

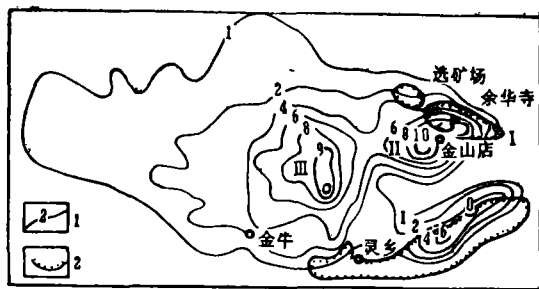


图9 金山店岩体及其周围航磁化极异常  
(单位：100伽玛)

I—金山店岩体；II—陈家庄岩体；III—吴伯浩岩体

1—航磁异常（化极后的）；2—岩体位置

综上所述：研究侵入岩体的磁各向异性，一方面可以利用其数值特征了解岩体形变和拟结晶的程度；另一方面可以利用以流动磁组构为主的岩石的磁化率主轴方向，分析岩浆流动方向和岩体产状。特别值得一提的是：在用它来分析岩体产状时，比利用磁异常分析的方法有其优越的地方。一般来说，利用磁异常分析岩体产状时有三种途径：①磁异常化极上延；②对比化极后的异常与岩体的出露界线；③对磁异常进行反演。途径①事实上是不可能的，作不同高度的上延只能看作是对磁异常进行不同阶次的圆滑，并不能反映岩体不同部位的情况；途径②是可行的，但必须有完整的岩体出露界线对比，且得到的结果也是一种整体的特征。途径③则因多解的存在，当然也有它的局限性。相对地讲，利用岩石的磁各向异性分析岩体产状时有如下几个方面的优点：①不需要磁异常；②不需要完整的岩体出露界线，除在地表露头处进行定向采样外，还可以通过钻孔定向采样和坑道定向采样；③磁各向异性是任何岩石都具有的磁学特征，它所反映的是岩体采样位置的直接信息，不会受其它地方的干扰，而磁异常所反映的是整体的间接的信息，存在多种干扰因素。④当磁性组构为单一的流动组构时，不存在多解性。

## 结 语

任何岩石都不同程度地具有磁各向异性。从微观上讲，岩石的磁各向异性主要起源于它所含铁磁性矿物的磁晶各向异性和结构构造的各向异性。但从宏观上讲，它受成岩过程中和成岩后地质作用的控制，岩石的磁各向异性不同程度地记录了成岩过程中和成岩后的地质信息，因此研究岩石的磁各向异性，有助于分析岩石的成岩过程和成岩后地质作用的特点，进而为找矿提供依据。这种基于岩石磁各向异性的磁组构分析方法还具有快速、灵敏的特点，而且测量误差比使用标准岩石学方法要小，特别适用于确定弱的或不明显的组构。

在这项研究工作中，得到我所张继文高级工程师的指导，国家地震局地球物理研究所许同春博士提供了许多宝贵资料，我所张益民高级工程师给予了大力帮助，特此致谢。

## 参 考 文 献

[1] Hrouda, F., Geophysical Survey, 1982,

765.

[2] Khan, M. A., Journal of Geophysical Research, 1962, Vol. 67, No. 7.

[3] Hrouda, F., et al, Tectonophysics, 1976, Vol. 34.

[4] Hrouda, F., Physics of the Earth and Planetary Interiors, Vol. 13, p. 132-142.

[5] 申宁华等:《磁法勘探问题》,地质出版社,1985.

## Magnetic Susceptibility Anisotropy of Rocks and Its Application to Geology

Xu Bai-an

Graphical Representation methods, general features and controlling factors of magnetic susceptibility Anisotropy of various rocks and its application to geology are expounded. On the basis of characteristic magnetic susceptibility of rocks, an analysis was made on the diagenesis and the geological process after diagenesis of intrusive bodies in southeastern part of Hubei Province.

### 超前异检在第二代区域化探工作中 的应用

第二代区域化探工作在全国范围内已广泛开展,除要求提供基础的地球化学资料外,还要求每个1/20万区域化探图幅在两年半内提交《地球化学图说明书》和一处矿产普查基地。为缩短工作周期,提高找矿效果,我们在第二代化探扫面的同时对第一代化探成果进行异常检查,取得了好效果。

1. 重新认识第一代化探成果,充分利用老资料。在全面开展第二代化探扫面前,首先收集、综合、分析、研究前人的成果,对所开图幅的地层、构造、岩浆岩、矿产,以及第一代化探所圈定的重砂、分散流异常作重新认识,将异常与地质情况对照,综合诸因素对异常进行分类排序,初步确定工作靶区。如四川三江地区某1/20万图幅内通过对第一代化探样品痕金测试(化学光谱法)结果,编写了《金元素地球化学图说明书》,并圈出了30个金异常(乙类8个,丙类22个),筛选出两个金异常进行超前检查。

2. 考虑综合因素,选择最佳工作靶区。在选择超前异检对象时,不能只看分散流异常,要结合重砂异常、地质情况和已知矿产等因素选择好工作对象。如在三江地区选的两个金异常为:①杂马地区金异常面积达108km<sup>2</sup>,呈不规则长条形,已达三级异常。其中二级异常范围约2.5km<sup>2</sup>,三级异常面积达15km<sup>2</sup>,Au异常峰值达37ppb。金异常主

要位于三叠纪变质砂岩和砂板岩中,且在两条北西向断层之间,有次一级背向斜分布。在该异常范围内有三级金重砂异常一个;三级重晶石重砂异常及三级Ni、Zn、Mo分散流异常与金异常吻合;区内见温泉3个。②颇佐地区金异常,面积约8km<sup>2</sup>,近于圆形,峰值为9.2ppb。异常范围内有一级锡石重砂异常面积约6km<sup>2</sup>,二级分散流Sn(40ppm)、Cu(80~130ppm)异常,面积约8km<sup>2</sup>,有锡多金属矿化点一处,矿石分析As>10000、Pb30、Sn150、Cu400ppm。区内石英闪长玢岩发育。

上述情况表明,两个金异常均位于有利成矿地段(构造、岩性、岩浆岩等),并有较好的金、锡石重砂异常及金的伴生元素As、Pb、Cu、Sn分散流异常与之吻合。据此选择为超前检查的对象。

3. 拟定正确的工作方法。超前异常检查,是试探性的工作,不宜投入大工作量,一般是进行三级异常检查。目的是查清引起异常的地质背景和异常源,一般是进行1/万短小地质化探剖面综合测量,小面积的1/5万综合化探和少量重砂测量。如在杂马、颇佐两金异常用短小地质化探综合剖面测量,均找到了矿源层(矿化体)。杂马地区矿化体规模较大,Au含量1.35g/t,颇佐地区的矿化体受岩体控制,Au含量达2.48g/t。

在超前异检过程中,如能对所采样品进行现场痕金分析或X荧光等现场测试手段,发现有望区段及时转入二级异常检查,可大大缩短找矿周期。

(四川省地矿局化探队 李超供稿)