

岩石磁化率各向异性 在地学中的应用

阎桂林 编著

北京)

4

中国地质大学出版社

书号	124341
分类号	P318.4
种次号	002

52/07/13

岩石磁化率各向异性 在地学中的应用

阎桂林 编著



石油0117398



中国地质大学出版社

内 容 简 介

岩石磁化率各向异性是岩石磁学中的重要研究课题。本书介绍了岩石磁化率各向异性的基本原理及应用。全书共分十章,前三章作为基础,系统地论述了岩石磁化率各向异性的基本概念与形成机制,测试原理与方法,数据的统计与整理。其余各章除介绍了各类岩石的磁化率各向异性的特征外,还以详实的例证,全面地介绍了它在地质学、地球物理学诸方面的应用与发展前景。

本书内容丰富,图表齐全,可作为地球科学工作者及高校师生的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

岩石磁化率各向异性在地学中的应用/阎桂林编著. —武汉:中国地质大学出版社,1996. 11

ISBN 7-5625-1126-8

I. 岩…

II. 阎…

III. 岩石磁化率-各向异性-地磁学

IV. P318

出版发行 中国地质大学出版社(武汉市喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 刘先洲

责任校对 徐润英

印 刷 中国地质大学出版社印刷厂

开本 850×1168 1/32 印张 4.375 字数 120 千字

1996 年 11 月第 1 版 1996 年 11 月第 1 次印刷 印数 1 300 册

定价:7.00 元

前 言

岩石磁学方面所取得的成绩,是 20 世纪地球物理学所获得的瞩目成就之一。岩石磁化率各向异性领域的开拓,就是其重要成果,它已成为岩石磁学的一个分支学科。

岩石磁化率各向异性的发现可能要追溯到本世纪早期,但最早的研究者是 Ising (1942)。他在研究纹泥的磁性后指出,沿层面测得的低场磁化率要比垂直层面测得的高很多,并将此现象称为磁化率各向异性 (anisotropy of magnetic susceptibility)。50 年代, Graham 在“磁化率各向异性,一个尚未开发的岩石组构要素”一文中指出,岩石磁化率各向异性是岩石组构的要素之一,在解决构造作用、岩石生成等地质问题上可发挥作用。由于测量岩石磁化率各向异性的速度要比测量岩石组构快得多,因此希望人们积极地去开拓这个领域。他的研究工作对该领域的开拓起了重要的作用。随后于 60 年代,与岩石组构相比较而产生了磁化率各向异性的同义词——磁组构 (magnetic fabric); 此后的 20 年,由于更多的地球物理、地质工作者的参与及努力,使其得到了充分地发展及完善,成为岩石磁学的一个重要分支学科。

岩石磁化率各向异性作为岩石磁学的一个分支,不仅有其系统的理论,还在于它应用的广泛性、实用性。它的应用几乎遍及地质学的各个方面,如沉积岩石学、岩浆岩石学、变质岩石学、构造地质学、矿床学、古地理学等,并在古地磁学、地球物理勘探和环境科学等方面有着重要的作用。应用的广泛性,多学科的交叉渗透,为该学科的发展开辟了广阔的前景。

在我国,关于磁化率各向异性问题的研究工作基本上始于 80 年代初期,虽然起步较晚,但发展迅速。由于一批科学工作者的努力,

现在该学科领域无论在理论上、仪器方面，还是其实际的应用方面，都取得了长足的进展，有些方面已达到了国际研究的前沿。

作者编写此书的目的在于普及和推广磁化率各向异性知识，所以，本书以其理论上的系统性，应用上的实际性为特点。它系统地介绍了磁化率各向异性的基本概念与形成机制，测试原理与方法，结果数据的整理，以及各类岩石的磁化率各向异性特征等。在此基础上，作者以大量的实例，全面地介绍了它在地质学、地球物理学诸方面的应用与前景，这是本书的重点所在。

本书初稿，呈蒙谭承泽先生的详细审阅、批改，并对其中一些内容的编排提出了许多宝贵意见，书中图件由唐核之、魏国鹏女士绘制，谨此表示深切的谢意。

• 阎桂林

1996. 9. 15

目 录

第一章 岩石的磁化率各向异性.....	(1)
§ 1.1 磁化率各向异性	(1)
一、磁化率及磁化率张量.....	(1)
二、视磁化率张量.....	(2)
§ 1.2 磁化率各向异性的数学表征	(4)
一、主磁化率和主磁化率方向.....	(4)
二、方向磁化率.....	(5)
三、磁化率张量的椭球表象.....	(6)
§ 1.3 磁化率各向异性参数及图示	(8)
一、磁化率各向异性参数.....	(8)
二、磁化率各向异性的图示	(10)
§ 1.4 磁化率各向异性的成因	(12)
一、矿物颗粒的磁各向异性	(12)
二、矿物集合体的磁各向异性	(18)
第二章 测量磁化率各向异性的仪器及工作方法	(21)
§ 2.1 无定向磁力仪	(22)
一、无定向磁力仪的测量原理	(22)
二、WSW-1 型数字无定向磁力仪	(23)
三、测量及计算方法	(24)
§ 2.2 卡帕桥	(30)
一、HKB-1 型卡帕桥的测量原理	(30)
二、测量与计算	(33)
§ 2.3 Minisep 旋转磁力仪	(35)
§ 2.4 标本的采集	(37)

一、样品的规格	(37)
二、样品的采集方法	(37)
三、采点的选择	(40)
第三章 磁化率各向异性的统计	(42)
§ 3.1 Fisher 统计法	(42)
一、求主方向的平均方向	(42)
二、Fisher 分布	(43)
三、准确性和离散度估计	(44)
§ 3.2 磁化率各向异性的张量统计	(46)
一、坐标系统与有关符号的约定	(46)
二、平均归一化张量	(47)
三、归一化平均张量及其方差估计	(48)
四、主磁化率和主方向的方差	(49)
五、主磁化率的置信区间及主方向置信域	(53)
六、各向异性检验	(54)
七、坐标转换	(55)
第四章 沉积岩的磁化率各向异性	(58)
§ 4.1 沉积岩的磁化率各向异性特征	(58)
一、沉积过程	(58)
二、沉积岩的磁化率各向异性特征	(59)
§ 4.2 确定古水流向	(61)
一、庐山下岸角地层剖面中的古水流向的变化	(61)
二、深海沉积物的古流向分析	(63)
§ 4.3 利用磁化率各向异性区分风成与水成次生黄土	(65)
§ 4.4 研究区域新构造运动	(67)
一、原理及工作方法	(67)
二、工作结果的分析	(70)
第五章 岩浆岩的磁化率各向异性	(73)

§ 5.1 喷出岩的磁化率各向异性	(73)
一、喷出岩的磁化率各向异性特征	(73)
二、确定火山口位置	(75)
§ 5.2 侵入岩的磁化率各向异性	(76)
一、侵入岩的磁化率各向异性特征	(76)
二、确定岩浆侵入的通道	(79)
三、区分不同成因的岩体	(81)
四、区分岩脉与围岩的时代	(83)
第六章 变质岩的磁化率各向异性	(86)
§ 6.1 变质岩的磁化率各向异性特征	(86)
§ 6.2 磁各向异性在岩石变形分析中的应用	(88)
第七章 磁各向异性与岩石的塑性形变	(90)
§ 7.1 磁化率各向异性是岩石应变的指示器	(90)
§ 7.2 磁化率量值椭球与应变椭球的对应关系	(92)
§ 7.3 叠加磁组构的识别	(94)
§ 7.4 韧性剪切带的磁化率各向异性特征	(95)
§ 7.5 褶皱的磁化率各向异性特征	(99)
第八章 矿床的磁化率各向异性	(105)
§ 8.1 矿床的磁化率各向异性特征	(105)
§ 8.2 磁各向异性在煤矿床上的应用	(106)
一、作为煤层面的指示器	(106)
二、用以研究煤田区的应力场分布	(107)
§ 8.3 磁各向异性在油田上的应用	(109)
第九章 磁化率各向异性与古地磁学	(112)
§ 9.1 磁化率各向异性对剩磁偏离效应的影响	(112)
一、剩磁偏离效应的客观存在	(112)
二、磁化率各向异性对剩磁方向的影响	(113)
§ 9.2 热剩磁偏离古地磁场的校正及其应用	(117)
一、公式推导	(118)

二、校正实例·····	(120)
第十章 磁化率各向异性与磁力勘探·····	(124)
主要参考文献·····	(128)

第一章 岩石的磁化率各向异性

§ 1.1 磁化率各向异性

一、磁化率及磁化率张量

众所周知,物质在外磁场中将被磁化,其磁化的程度用“感应磁化强度”这一物理量($\vec{M}$)来描述。在相同的外磁场中,不同物质的磁化程度亦不相同,磁化率 κ 就是描述其难易程度的量值。

均匀各向同性无限介质,在均匀外磁场作用下将被均匀磁化,即各点处的感应磁化强度相同。在物质内任一点处,感应磁化强度量值与有效磁化磁场($\vec{H}_e$)之间有如下关系:

$$\vec{M} = \kappa_0 \vec{H}_e \quad (1.1)$$

κ_0 为物质的固有磁化率(即真磁化率),在弱磁场中是一单值函数。

当介质为各向异性,或为有限形体时,即使有效磁化磁场是均匀的,其物质亦呈非均匀磁化状态,即各点处的感应磁化强度矢量是不同的。此时,物质内某点处的感应磁化强度为

$$\vec{M} = [\kappa_0] \cdot \vec{H}_e \quad (1.2)$$

即物质内某点处的感应磁化强度为该点处固有磁化率张量与有效磁化磁场强度的内积。此时固有磁化率为张量。

在弱磁场条件下可认为感应磁化强度相对有效磁场的变化是线性的, $[\kappa_0]$ 是二阶张量。在笛卡尔坐标系中, (1.2) 式可展开为

$$\left. \begin{aligned} M_x &= (\kappa_0)_{xx}(H_e)_x + (\kappa_0)_{xy}(H_e)_y + (\kappa_0)_{xz}(H_e)_z \\ M_y &= (\kappa_0)_{yx}(H_e)_x + (\kappa_0)_{yy}(H_e)_y + (\kappa_0)_{yz}(H_e)_z \\ M_z &= (\kappa_0)_{zx}(H_e)_x + (\kappa_0)_{zy}(H_e)_y + (\kappa_0)_{zz}(H_e)_z \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

上式表明,沿 x 方向施加的有效磁化磁场,不仅产生 x 方向的,也产生沿 y, z 方向的感应磁化强度。此时,固有磁化率张量的 9 个分量,可用矩阵表示

$$[\kappa_0] = \begin{bmatrix} (\kappa_0)_{11} & (\kappa_0)_{12} & (\kappa_0)_{13} \\ (\kappa_0)_{21} & (\kappa_0)_{22} & (\kappa_0)_{23} \\ (\kappa_0)_{31} & (\kappa_0)_{32} & (\kappa_0)_{33} \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

式中脚标的 1、2、3 分别代表 x, y, z 。

已经证明,固有磁化率张量是二阶实对称张量,故(1.4)式中的

$$(\kappa_0)_{12} = (\kappa_0)_{21}, (\kappa_0)_{13} = (\kappa_0)_{31}, (\kappa_0)_{32} = (\kappa_0)_{23} \quad (1.5)$$

所以,(1.4)式中 9 个磁化率分量可减少为 6 个。(1.5)式表明,沿 x 方向的磁场产生 z 方向的感应磁化强度等于沿 z 方向同样强度的磁场在 x 方向产生的感应磁化强度,即 $(\kappa_0)_{13} = (\kappa_0)_{31}$ 。

若对(1.4)式作适当变换,使 $[\kappa_0]$ 为对角矩阵,则

$$[\kappa_0] = \begin{bmatrix} (\kappa_0)_1 & 0 & 0 \\ 0 & (\kappa_0)_2 & 0 \\ 0 & 0 & (\kappa_0)_3 \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

式中: $(\kappa_0)_1 = (\kappa_0)_{11}$, $(\kappa_0)_2 = (\kappa_0)_{22}$, $(\kappa_0)_3 = (\kappa_0)_{33}$, 其余各分量为零。当 $(\kappa_0)_1 = (\kappa_0)_2 = (\kappa_0)_3$ 时,该物质呈各向同性的磁化率状态。否则,就是具有各向异性的磁化率的物质。

二、视磁化率张量

实际工作中,人们研究的是有限形体物质的感应磁化强度,可以测到的是外磁化磁场($\vec{H}$),而不是物质内部某点处的有效磁化磁场($\vec{H}_i$)。因此,如果认为感应磁化强度是由外磁化场所产生的,则引入视磁化率概念,(1.2)式变为

$$\vec{M} = [\kappa] \cdot \vec{H} \quad (1.7)$$

这里, κ 被称为视磁化率,为二阶张量。具有(1.4)式类似的表达式。

物质视磁化率 κ 与固有磁化率有何关系呢?假设有一有限形体,固有磁化率为各向同性,并在均匀的外磁场中被磁化,在该物体内部将

产生一退磁场 $\vec{H}_d, \vec{H}_d$ 的大小为

$$H_d = NM \quad (1.8)$$

式中: N 为退磁因子, 它仅取决于物体的形状。

此时, 物体内的有效磁化磁场为

$$H_e = H - H_d = H - NM$$

所以有 $M = \kappa_0 H_e = \kappa_0 (H - NM)$

故
$$M = \left(\frac{\kappa_0}{1 + N\kappa_0} \right) H$$

设
$$\kappa = \frac{\kappa_0}{1 + N\kappa_0} \quad (1.9)$$

即有
$$\kappa_0 = \frac{\kappa}{1 - N\kappa}$$

由上述可知, 视磁化率 κ 在本质上与物体的形状有关, 即与物体产生的退磁场有关。因固有磁化率 κ_0 仅取决于物质本身的性质, 与其形状无关, 通常人们根据测到的视磁化率和已知物体的形状, 来求得物质的固有磁化率。

固有磁化率 κ_0 和视磁化率 κ 既可以是各向异性的, 又可以是各向同性的。若固有磁化率为各向同性, 那么只有当物体为等轴状时, 视磁化率才是各向同性的。若固有磁化率是各向异性的, 则无论物体是否呈等轴状, 视磁化率一般都是各向异性的。对此, 为了使观测到的视磁化率各向异性能直接反映固有磁化率的各向异性, 通常将测试物体的样品加工成等轴状或等尺度形状。

因为退磁因子是一个张量。当 κ_0 为各向同性时, N 为各向异性, 有

$$\left. \begin{aligned} \kappa_1 &= \frac{\kappa_0}{1 + \kappa_0 N_1} \\ \kappa_2 &= \frac{\kappa_0}{1 + \kappa_0 N_2} \\ \kappa_3 &= \frac{\kappa_0}{1 + \kappa_0 N_3} \end{aligned} \right\} \quad (1.10)$$

式中脚标 1、2、3 分别为 x 、 y 、 z 轴方向。

当 κ_0 为各向异性时, N 为各向同性, 有

$$\left. \begin{aligned} \kappa_1 &= \frac{(\kappa_0)_1}{1 + N(\kappa_0)_1} \\ \kappa_2 &= \frac{(\kappa_0)_2}{1 + N(\kappa_0)_2} \\ \kappa_3 &= \frac{(\kappa_0)_3}{1 + N(\kappa_0)_3} \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

当 κ_0 和 N 都为各向异性时, 则有

$$[\kappa] = [\kappa_0]/I + [\kappa_0] \cdot [N] \quad (1.12)$$

式中: I 为单位矩阵。

由此可见, 在弱磁场中测定的磁性体的视磁化率张量, 既是固有磁化率张量的函数, 也是与磁性体形状有关的退磁因子张量的函数。

§ 1.2 磁化率各向异性的数学表征

一、主磁化率和主磁化率方向

由前述已知, 外形呈等轴状的磁性体(样品)的视磁化率张量与固有磁化率张量直接相关, 通过视磁化率张量可直接研究后者。视磁化率张量(其下简称磁化率张量)是个二阶实对称张量。在给定的笛卡尔坐标系中, 同样有

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \kappa_{11} & \kappa_{12} & \kappa_{13} \\ \kappa_{21} & \kappa_{22} & \kappa_{23} \\ \kappa_{31} & \kappa_{32} & \kappa_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \end{bmatrix} \quad (1.13)$$

式中脚标 1、2、3 分别为 x 、 y 、 z 坐标轴向。

视磁化率张量为

$$[\kappa] = \begin{bmatrix} \kappa_{11} & \kappa_{12} & \kappa_{13} \\ \kappa_{21} & \kappa_{22} & \kappa_{23} \\ \kappa_{31} & \kappa_{32} & \kappa_{33} \end{bmatrix} \quad (1.14a)$$

式中: κ_{11} , κ_{22} , κ_{33} 分别称为各轴的正常磁化率; κ_{12} , κ_{13} , κ_{21} , κ_{23} , κ_{31} , κ_{32} 称为交叉磁化率, 且 $\kappa_{12} = \kappa_{21}$, $\kappa_{23} = \kappa_{32}$, $\kappa_{31} = \kappa_{13}$ 。它有 6 个独立分量。

经正交变换后,在新的坐标系中可有

$$[\kappa] = \begin{bmatrix} \kappa_1 & 0 & 0 \\ 0 & \kappa_2 & 0 \\ 0 & 0 & \kappa_3 \end{bmatrix} \quad (1.14b)$$

此时,(1.7)式可写作

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \kappa_1 H_1 \\ M_2 &= \kappa_2 H_2 \\ M_3 &= \kappa_3 H_3 \end{aligned} \right\} \quad (1.15)$$

(1.15)式表明,沿三个相互垂直的轴向的感应磁化强度各自仅由沿所在轴向的磁场所引起,在此定义外磁场与感应磁化强度平行的方向为主磁化率方向(即主方向);沿此三个主轴方向的磁化率为主磁化率(即上述式中的 κ_1 、 κ_2 、 κ_3)。

由此可见,对于一个三维二阶实对称的磁化率张量,在空间就有一特定的三个相互垂直的主方向及相应的三个主磁化率值,因而磁化率张量是不因人为观察角度不同而变化的。换言之,利用主磁化率的大小及主方向这两个特征值,可表征物体某点处的磁化率特征。

二、方向磁化率

利用主磁化率及其主轴方向来表征物质内某点处的磁化率特征,就需要知道磁化率张量的各个分量。由于我们并不能直接测得它们,为此这里引入一个方向磁化率的概念。通过测量沿外磁场方向上的磁化率,并利用方向磁化率与磁化率张量的6个分量以及主磁化率、主方向的关系,来提供测量它们的方法。

所谓方向磁化率,就是感应磁化强度 $\vec{M}$ 在外磁场 $\vec{H}$ 方向上的投影 M_H 与外磁场强度的比值,称为沿外磁场 $\vec{H}$ 方向的方向磁化率 κ_H ,如图 1.1 所示。

$$\kappa_H = \frac{M_H}{H} \quad (1.16)$$

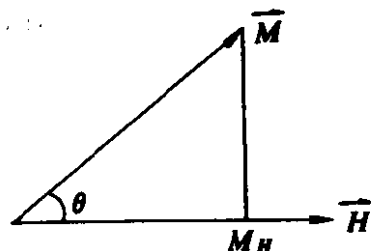


图 1.1 方向磁化率

方向磁化率 κ_H 与磁化率张量 κ 的关系为

$$\kappa_H = \kappa_{11}l_1^2 + \kappa_{22}l_2^2 + \kappa_{33}l_3^2 + 2\kappa_{12}l_1l_2 + 2\kappa_{23}l_2l_3 + 2\kappa_{31}l_1l_3 \quad (1.17)$$

式中: l_1, l_2, l_3 为外磁场 $\vec{H}$ 方向相对所选定的直角坐标系三个轴的夹角的方向余弦。

将(1.17)式简记为

$$\kappa_H = \kappa_{ij}l_i l_j \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (1.18)$$

当磁化率主轴与坐标轴重合时,如前所述,沿三个主轴的磁化强度各自仅由所在轴向的外磁场分量所致。此时 $[\kappa]$ 张量的分量为

$$\begin{aligned} \kappa_1 &= \kappa_{11}, \quad \kappa_2 = \kappa_{22}, \quad \kappa_3 = \kappa_{33} \\ \kappa_{ij} &= 0 \quad (i \neq j) \end{aligned}$$

此时(1.17)式可简化为

$$\kappa_H = \kappa_1 l_1^2 + \kappa_2 l_2^2 + \kappa_3 l_3^2 \quad (1.19)$$

由此可见,只要通过测量 κ_H ,以及上述的关系,则可求得磁化率张量的各分量及主磁化率和主方向。

三、磁化率张量的椭球表象

1. 磁化率各向异性椭球 设置一直角坐标系,通过原点有一矢量 $\vec{r}$,令其方向与磁场 $\vec{H}$ 方向相同,其大小满足

$$\begin{aligned} r^2 \kappa_H &= 1 \\ |\vec{r}| &= \frac{1}{\sqrt{\kappa_H}} \end{aligned} \quad (1.20)$$

$\vec{r}$ 在三个坐标轴上的分量分别为 x_1, x_2, x_3 ,与三个轴的方向余弦为 l_1, l_2, l_3 ,则有

$$l_1 = \frac{x_1}{r}, \quad l_2 = \frac{x_2}{r}, \quad l_3 = \frac{x_3}{r}$$

将其代入(1.17)式,得

$$\kappa_{11}x_1^2 + \kappa_{22}x_2^2 + \kappa_{33}x_3^2 + 2\kappa_{12}x_1x_2 + 2\kappa_{23}x_2x_3 + 2\kappa_{13}x_1x_3 = 1 \quad (1.21)$$

这是一个二次曲面方程。

当坐标系的三个轴 x_1, x_2, x_3 与磁化率张量的三个主轴方向相同时, (1.21) 式成为

$$\frac{x_1^2}{\left(\frac{1}{\sqrt{\kappa_1}}\right)^2} + \frac{x_2^2}{\left(\frac{1}{\sqrt{\kappa_2}}\right)^2} + \frac{x_3^2}{\left(\frac{1}{\sqrt{\kappa_3}}\right)^2} = 1 \quad (1.22)$$

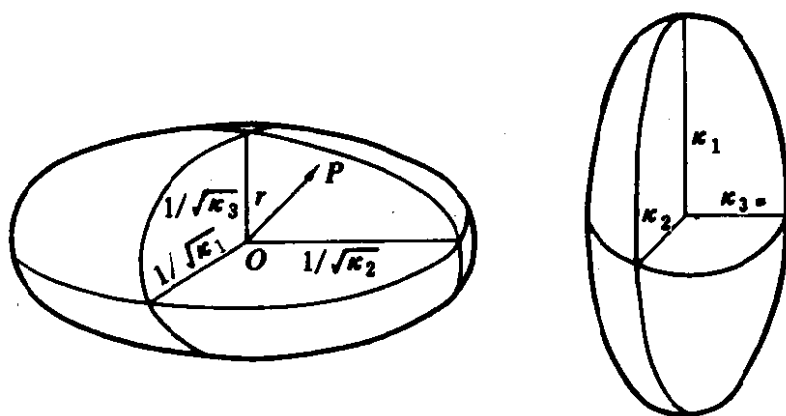


图 1.2 磁化率椭球及量值椭球

该式为一椭球面的方程。其图形如图 1.2 所示。椭球的三个主轴, 即磁化率主轴, 其半轴的长度分别为 $1/\sqrt{\kappa_1}, 1/\sqrt{\kappa_2}, 1/\sqrt{\kappa_3}$ 。它们决定了椭球的大小。由 (1.22) 式所决定的椭球, 称之为磁化率各向异性椭球, 简称为磁化率椭球。

2. 磁化率量值椭球 当设定的矢量 $\vec{r} = \vec{M}$ 时, 则有

$$r^2 \sum_{i=1}^3 \left(\frac{l_i}{\kappa_i} \right)^2 = 1$$

即
$$\frac{x_1^2}{\kappa_1^2} + \frac{x_2^2}{\kappa_2^2} + \frac{x_3^2}{\kappa_3^2} = 1 \quad (1.23)$$

该式称为数值椭球方程, 该椭球称作磁化率量值椭球, 如图 1.2 所示。

这个量值椭球的三个主轴长度分别为 $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$, 它的形状能直观地表达磁化率各向异性的情况。所以, 在实际的应用中, 它被更为广泛地使用。

§ 1.3 磁化率各向异性参数及图示

由上述已知,磁化率张量的几何图像为椭球(或量值椭球)。该椭球的形状、大小及空间方位完全可由磁化率张量的主磁化率及主方向所决定。那么,这三个主磁化率及主方向分别可记为:最大磁化率 κ_1 及方向 D_1, I_1 ; 中间磁化率 κ_2 及方向 D_2, I_2 ; 最小磁化率 κ_3 及方向 D_3, I_3 。其中 D, I 分别为主方向的偏角及倾角。

它们决定了磁化率量值椭球的大小、形状及空间方位。

一、磁化率各向异性参数

磁化率量值椭球的形状还可以用主磁化率之间的差值或比值来描述,下面就是几个经常用到的,并为国际上共同使用的参数:

- (1)总磁化率: $\kappa = \frac{1}{3}(\kappa_1 + \kappa_2 + \kappa_3)$,
- (2)各向异性度: $P = \kappa_1 / \kappa_3$,
- (3)磁面理: $F = \kappa_2 / \kappa_3$ 或 $F = (\kappa_2 - \kappa_3) / \kappa$,
- (4)磁线理: $L = \kappa_1 / \kappa_2$ 或 $L = (\kappa_1 - \kappa_2) / \kappa$,
- (5)扁率: $E = \kappa_2^2 / \kappa_1 \cdot \kappa_3$

当 $E > 1$ 时,磁化率量值椭球的形状为压扁状;当 $E < 1$ 时,磁化率量值椭球的形态为拉长的椭球。

(6)形状因子: $T = (2\eta_2 - \eta_1 - \eta_3) / (\eta_1 - \eta_3)$, 式中的 $\eta_1 = \ln \kappa_1, \eta_2 = \ln \kappa_2, \eta_3 = \ln \kappa_3$ 。

当 $T = 0$ 时,磁面理和磁线理同等发育;当 $1 > T > 0$ 时,磁面理发育为主; $T = 1$ 时,仅有磁面理发育; $0 > T > -1$ 时,磁线理发育为主; $T = -1$ 时,仅有磁线理发育。

在 P, T, E 参数间,存在下列关系:

$$P^T = E$$

所以,当 $T < 0$ 时 $E < 1$,即为拉长椭球体; $T > 0$ 时 $E > 1$,为压扁状椭球。 E 值的变化区间较大,而 T 值仅在一1到+1区间变化。