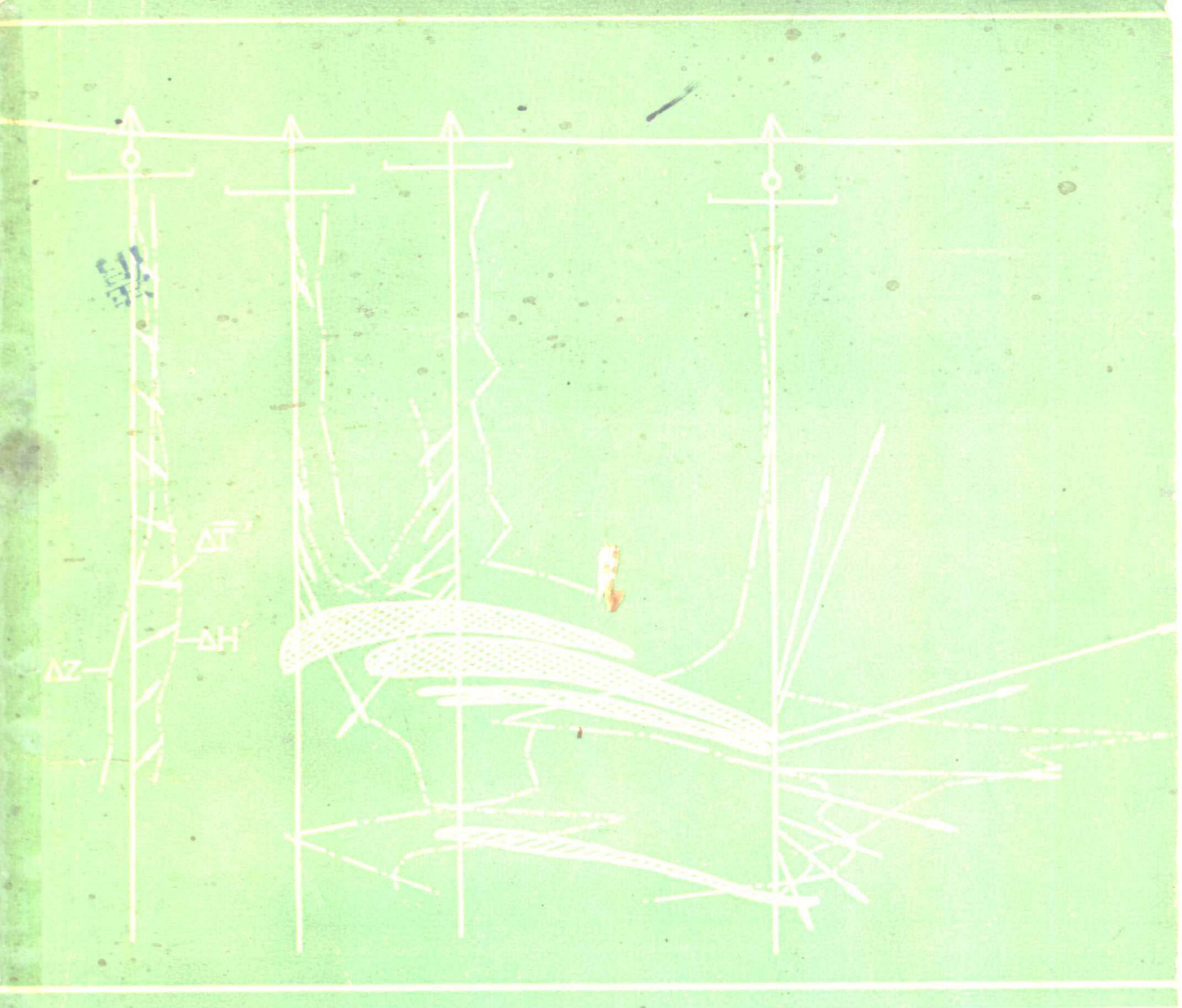




地质部地质研究所第三地质研究所编

井中三分量磁测

地质出版社



井中三分量磁测

陕西省地质局第二物探队编著

*

地质局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

北京印刷八厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1974年1月北京第一版·1974年1月北京第一次印刷

印数1—3,800册·定价1.50元

统一书号: 15038 新·54

毛主席语录

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

我们能够学会我们原来不懂的东西。我们不但善于破坏一个旧世界，我们还将善于建设一个新世界。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

要认真总结经验。

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下,在无产阶级文化大革命的推动下,战斗在地质战线上的广大革命职工遵照毛主席“我们必须打破常规,尽量采用先进技术”和“自力更生”、“艰苦奋斗”的教导,在地质勘探工作中创造和采用了不少新技术、新方法。晶体管三分量井中磁力仪的制造成功和在勘探磁性矿体中的应用,就是一例。

我国自行设计的第一批晶体管三分量井中磁力仪,是在冶金和地质部门的有关科研单位和仪器厂的紧密配合下,于一九六七年试制成功,一九七〇年投入成批生产,推广使用。几年来这个方法在几十个不同类型的磁铁矿区或磁异常区的数百个钻孔中的使用,取得了可喜的效果。

目前井中三分量磁测工作才刚刚开始普及,有关技术资料还不多。为了更好地推动井中磁测的发展并满足从事这项工作的同志对技术资料的要求,我们在过去几年工作的基础上,收集了国内外有关这方面的资料,编写了这本《井中三分量磁测》。这本书是普及性的技术方法手册,既介绍了方法和仪器的原理,也总结了目前国内开展这一方法的主要经验,对于资料整理和推断解释也作了较详细的说明,并列举了若干具有代表意义的应用实例。

此外,为了便于使用,还编绘了一本《井中三分量磁异常理论图册》。图册内绘制了沿走向无限延伸的板状体、椭圆柱体、水平圆柱体等三种二度体及三度板状体、旋转椭球体、三轴椭球体和球体等四种三度体在不同产状、不同磁化条件及不同剖面位置时引起的磁异常垂直分量 ΔZ 、水平分量 $\Delta \vec{H}$ 、磁异常总矢量 $\Delta \vec{T}$ (或在垂直于磁性体走向的剖面上的投影 $\Delta T_{\perp}$)的理论曲线或矢量图,共130幅。

此书在编写过程中,许多兄弟单位给予了大力支持,特此致谢。另外,由于我们水平有限,书中缺点错误一定不少,希望读者给予批评指正。

目 录

第一章 井中三分量磁测的基本概念	1
第一节 有关磁的一些基本知识	1
第二节 地磁场、正常场及异常场的概念	3
第三节 岩矿的磁性	5
第四节 岩、矿体的磁化强度及其与岩、矿体形状之间的关系	7
第五节 井中三分量磁测的基本原理	13
第六节 井中三分量磁测的主要特点	17
第七节 井中磁测主要用途概述	19
第二章 三分量井中磁力仪及其使用	21
第一节 磁敏元件的基本理论	21
第二节 JSZ-1型、JSZ-2型三分量井中磁力仪	24
一、仪器的主要技术指标	24
二、仪器概述及方框原理	24
三、井下仪器的结构及定向原理	25
四、地面仪器各部线路原理简介	28
第三节 仪器的操作与调试	42
一、仪器操作方法和步骤	42
二、仪器性能的检查及测定	45
三、仪器的调节	47
第四节 仪器故障及排除	56
第三章 井中三分量磁测工作方法	58
第一节 工区的基本条件	58
第二节 正常场的确定	60
第三节 井场测量	61
一、任务的接受,情况的了解,资料的搜集	61
二、仪器的检查与准备	62
三、电缆的标记和深度的确定	62
四、井中磁测的进行	63
五、对井斜测量的要求	65
六、草图的绘制及初步解释	65
七、改进野外工作的一些措施	65
第四节 井中三分量磁测的误差分析	66
一、三种基本误差	66
二、资料的总误差及若干分析	68
三、仪器存在的定向问题	69
第五节 岩矿磁参数的测定及数据整理	72

第六节 井中三分量磁测资料的整理及图示	76
一、资料整理的意义及磁异常图的类型	76
二、各类磁异常图的含义及作图方法	76
三、井斜投影方法	84
第四章 井中磁测资料的推断解释	86
第一节 推断解释的一般原则	86
第二节 井中磁异常的正反问题	88
一、关于井中磁异常的一般正演概念	89
(一) 磁性体的外磁场	89
(二) 磁性体的内磁场	90
(三) 两种磁性介质分界面处的磁场	92
(四) 钻孔穿过有限厚磁性层时的磁异常	93
二、关于井中磁异常的正演公式	96
三、若干规则体的正演公式	98
(一) 点极	98
(二) 异号双点极	98
(三) 单极线	98
(四) 沿走向及倾向无限延伸的倾斜薄板和厚板	99
(五) 双极线	99
(六) 球体	100
(七) 水平圆柱体	100
(八) 走向为水平无限延伸的四面体	101
(九) 椭圆柱体	102
(十) 长方形体	103
四、关于地面磁测公式用于井下问题	104
第三节 区分矿与非矿异常	105
第四节 二度体的井斜校正问题	108
一、直线斜孔时资料的处理和应用	108
二、弯曲斜孔时进行井斜校正的方法	110
(一) 根据柯西积分公式进行井斜校正	110
(二) 利用复变函数中保角映射的原理进行井斜校正	112
第五节 确定矿体的形状和产状	116
一、复杂情况当作简单情况处理的条件	116
二、判断矿体形状的方法	119
(一) 利用磁异常曲线的某些特征点参数	119
(二) 利用 ΔT 矢量图的特征	123
(三) 用 ΔZ — ΔH 参量图判断磁性体的形状	124
三、研究磁性体产状的方法	127
(一) 异常特征法	127
(二) 参量图法	130
(三) 利用矿体内磁场确定产状	131
第六节 研究矿体与钻孔的相对位置	133
一、矿体在钻孔的侧旁还是下部的判断	135

二、确定剖面内的矿体在钻孔哪一侧	138
三、研究矿体沿走向是否延过钻孔所在横剖面	139
四、确定矿体中心或主部相对钻孔的方向	141
五、推定非等轴状规则体近钻孔处长轴端部的大致位置	143
第七节 定量计算方法	146
一、直接利用现有地面反演公式计算	146
二、几种规则体的井中磁测资料反演解析法	147
(一) 特征点解析法	149
1. 无限延深的倾斜薄板	149
2. 无限延深的倾斜厚板	152
3. 水平圆柱体	154
4. 球体	157
(二) 任意点解析法	158
(三) 切线法	159
(四) 列线图法	167
三、矢量交会法	176
(一) 点极和走向无限长单线极	177
(二) 垂直磁化的球体	177
(三) 无限延深的倾斜薄板状体	177
(四) 水平圆柱体	179
四、选择法	181
(一) 理论曲线对比法	181
(二) 二度体数点计算法	181
(三) 走向长度有限, 截面稳定的均匀磁化体的数点计算法	184
(四) 任意体数点计算法	196
(五) 磁模拟测量法	203
第八节 关于解释工作中若干问题的探讨	204
一、资料解释的一般方法步骤	204
二、解释钻孔的选择	207
三、解释的简化及复杂异常的处理	207
四、矿体磁参数的确定	213
五、地面磁测与井中磁测资料的综合解释问题	215
第五章 井中三分量磁测的应用	218
第一节 验证地面磁异常, 判断异常性质	218
第二节 在打钻过程中指导钻进	223
第三节 确定盲矿体位置, 指导布钻	231
第四节 确定被钻孔打穿的矿体的延伸范围及厚度	234
第五节 确定矿体的产状	239
第六节 在勘探阶段确定矿体规模及范围	241
第七节 根据井中三分量磁测资料确定磁性矿区钻孔倾斜方位	243
结束语	245

毛主席语录

入门既不难，深造也是办得到的，只要有心，只要善于学习罢了。

第一章 井中三分量磁测的基本概念

井中三分量磁测，一般称为三分量磁测井。它是以研究岩、矿的磁性为其物理基础的。通过在钻孔中测定具有不同磁性的岩、矿体所产生的天然磁场，并对这些磁场的特征进行分析研究，从而作出地质上的解释，以达到探矿的目的。

当前，在石油、煤田和一些金属矿区广泛开展着的地球物理测井方法，主要是通过研究钻孔周围小范围内（亦即所谓“井壁”）已被钻孔揭露的岩、矿层的一些物理性质，来确定岩、矿层的位置、厚度、孔隙度及其他参数。而井中三分量磁测反映了钻孔周围较大空间内磁性体磁场的总和，它不仅和其他地球物理测井方法一样，可以用来分层定厚，而且其探测范围远较后者为大，主要用来寻找钻孔周围和底部未被揭露的磁性盲矿体，并研究其产状规模等，因此，从方法原理上说，井中三分量磁测实际上就是地面磁测向井下的发展，它与一般的地球物理测井方法是有区别的。为了在概念上统一起见，在本书中将过去一般所指的三分量磁测井改称为井中三分量磁测，或简称井中磁测。

第一节 有关磁的一些基本知识

物质的磁现象和电现象一样，很早以前就被人们发现了。人们最早发现的磁性物体是天然磁铁（ Fe_3O_4 ），它能吸引铁、镍、钴和某些合金等物质。磁铁能吸引铁、镍、钴等物体的性质就称为磁性。

如果将一根条形磁铁或狭长磁针从它的中心悬挂起来，它受到地球磁场的影响，将指向一定的方向，这个方向接近于地理的南北方向，我们称之为磁南北方向。磁针指示磁南北向的两端分别称为指南极（或S极）和指北极（或N极）。

磁性物质的磁极之间相互都有力的作用，而且是同号磁极相斥，异号磁极相吸。任何磁铁的S、N两极总是同时存在的。

由于电荷和磁极间有一些类似之处，最初人们曾认为磁极是“磁荷”集中的所在（称N极有“正磁荷”，S极有“负磁荷”），磁性起源于“磁荷”，磁铁间的相互作用起源于“磁荷”间的相互作用。直到十九世纪初才发现磁现象和电现象间的密切联系，通过试验研究认识到一切磁现象都是起源于电流，于是彻底地抛弃了“磁荷”的假说。但是由于在研究磁性体的磁

场时应用“磁荷”的概念在数学推导和物理分析上往往比较方便，因此直到现在在磁法勘探中仍常常应用磁荷、磁极、磁极线或磁荷面等概念，本书在以后的章节中也采用这些概念，不过我们应当知道，从物理意义上说，磁荷实际上是不存在的。

磁铁和磁铁之间、电流和电流之间，以及电流和磁铁之间均有力的存在，这些力统称为磁力。磁铁和电流在真空中所表现的磁力和在不同物质中所表现的磁力并不一样，也就是说，各种不同物质对磁力都有影响。凡是能影响磁力的物质称为磁介质。

“一切客观事物本来是互相联系的和具有内部规律的”。物质的磁性就是由物质的分子中所存在的回路电流即分子电流所构成的。分子电流强度 i 与其包围的面积 ΔS 之乘积 ($\Delta S i$) 即为分子磁矩 P_m ，其方向按右手螺旋法则确定 (图 1-1-1)。分子电流又相当于一个元磁铁，其两极集聚的“磁荷”各为 m ，距离为 $2l$ ，则其磁矩为 $2ml$ 。

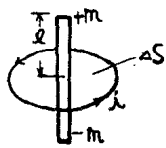


图 1-1-1

物质在没有磁性的状态下，这些分子电流是毫无规则的取各种可能的方向，它们对外界的磁效应互相抵消，总磁矩 $\Sigma P_m = 0$ ，整个物体就不呈现磁性。磁性物质在外界磁力的作用下，其分子磁矩将顺着外磁场的方向排列起来，当 ΣP_m 具有一定量值，对外界就呈现磁性。磁质本身具有一定磁矩的现象就叫物质的磁化现象。我们称单位体积内的磁矩为磁化强度，用 $\vec{J}$ 表示：

$$\vec{J} = \frac{\Sigma P_m}{\Delta V}$$

式中 ΔV ——体积； ΣP_m ——在 ΔV 体积内的磁矩。

磁化强度是表征磁质磁化程度的物理量。

电流或磁性体在它的周围空间里产生一种特殊的场，称为磁场。磁场的重要表现在于它对引入磁场的运动电荷或载流导体具有磁力作用。磁场在真空中对于单位元电流的作用力称为磁场强度 $\vec{H}$ 。

某一磁源 (例如载流导线或磁性体) 在真空中产生的磁场强度 $\vec{H}$ 与在无限大均匀磁介质中产生的磁场强度是不同的，后者称为磁感应强度，以 $\vec{B}$ 表示，这两者的关系是：

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (1-1-1)$$

μ ——物质的导磁率，它表征磁源在磁介质内所产生的磁场和在真空中所产生的磁场的比值。 μ 在电磁系单位中没有量纲，是一个纯数。

上述几个物理量不是孤立的而是互相联系的，实验证明磁质内某点的磁化强度 $\vec{J}$ 和该点的磁感应强度 B 成正比，即：

$$\vec{J} = \frac{\kappa}{\mu} \vec{B} = \kappa \vec{H} \quad (1-1-2)$$

其中 κ ——物质的磁化率，它的数值仅与磁质的性质有关，在电磁系单位中也是个纯数。通过进一步理论计算还可得出：

$$\vec{B} = \vec{H} + 4\pi \vec{J} \quad (1-1-3)$$

$$\therefore \mu = 1 + 4\pi\chi \quad (1-1-4)$$

上述物理量 μ, χ, J, B, H 等在以后各章中皆采用电磁系单位, 用 CGSM 表示, 当这些数值较小时也采用 10^{-6} CGSM 单位。在高斯单位制中, 磁场强度以奥斯特 (O_e) 为单位, 磁感应强度以高斯为单位, 它们在数值上与 CGSM 单位是相同的。

第二节 地磁场、正常场及异常场的概念

磁针在地球上任何地方都受到磁力的作用, 这表明地球本身就是一个大磁体, 在它周围空间各点都存在着磁场。这种由地球本身所产生的磁场就称为地磁场。地磁场是一种向量, 它既有大小又有方向, 通常用矢量 $\vec{T}$ 来表示。为了便于研究起见, 我们往往将 $\vec{T}$ 分解成直角坐标系上的几个分量。这个坐标系的 x 轴沿地理子午线, 指正北; y 轴向东; 这两个轴都在水平面内。 z 轴则垂直向下。

矢量 $\vec{T}$ 在 z 轴上的投影叫垂直分量, 以 Z 表示; $\vec{T}$ 在水平面 XOY 上的投影叫水平分量, 以 $\vec{H}$ 表示; $\vec{H}$ 在 x 轴上的投影叫北分量 X ; 在 y 轴上的投影叫东分量 Y 。 x 轴与 $\vec{H}$ 分量间的夹角叫磁偏角 D ; $\vec{T}$ 与水平面的夹角叫磁倾角 I 。(见图 1-2-1)

我们规定, 向量 $\vec{H}$ 由北向东的磁偏角为正, 向西为负。向量 $\vec{T}$ 在北半球指向地平线之下, I 为正, 指向上时则为负。

X, Y, Z, D, H, I 都称为地磁要素, 其中 $(H, Z, D), (X, Y, Z), (H, D, I)$ 为独立的三组, 知道任一组, 就能求出全部的地磁要素。

各要素的相互关系如下:

$$\begin{cases} X = H \cos D, & Y = H \sin D, & Z = H \operatorname{tg} I, \\ H = T \cos I, & Z = T \sin I, & \operatorname{tg} I = \frac{Z}{H}, \\ H^2 = X^2 + Y^2, & T^2 = H^2 + Z^2, & \operatorname{tg} D = \frac{Y}{X}. \end{cases}$$

地面上任一点 P 的磁位可以用球体磁位的表达式来近似地表示。

$$U = -\frac{M}{R^2} \sin \varphi \quad (1-2-1)$$

式中 φ 是地理纬度, M 是地球总磁矩, $R = OP =$ 地球半径 (图 1-2-2)。假定地磁轴 (即 SN 磁极的连线) 与地球转动轴相重合, P 点处的磁场强度可写为下式;

$$\left. \begin{aligned} X &= H = -\frac{1}{R} \cdot \frac{\partial U}{\partial \varphi} = \frac{M}{R^3} \cos \varphi \\ Z &= -\left(-\frac{\partial U}{\partial R}\right) = \frac{2M}{R^3} \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (1-2-2)$$

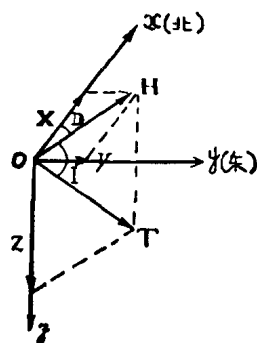


图 1-2-1

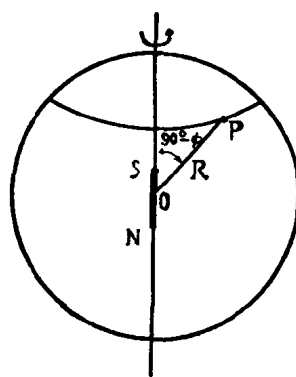


图 1-2-2

$$T = \sqrt{H^2 + Z^2} = \frac{M}{R^3} (1 + 3 \sin^2 \varphi)^{1/2} \quad (1-2-2)$$

根据地球上某些点的实测磁场值,可计算出地球的 M 值, $M = 8.3 \times 10^{25}$ CGSM。如取地球的半径 $R = 6000$ 公里,将 M 、 R 值代入(1-2-2)式,并假设不同的 φ 值,就可计算出地球上不同纬度处的地磁场值:

$$\text{在赤道处 } \varphi = 0^\circ, Z = 0, H = T = \frac{M}{R^3} = 0.38 \text{ CGSM}$$

$$\text{在两极处 } \varphi = 90^\circ, H = 0, Z = T = \frac{2M}{R^3} = 0.76 \text{ CGSM}$$

亦即 T 在两极处的强度比在赤道处大一倍。 Z 在赤道处为零,在两极处最大; H 在两极处为零,在赤道处最大。

磁倾角可根据下式求得:

$$\operatorname{tg} I = \frac{Z}{H} = 2 \operatorname{tg} \varphi \quad (1-2-3)$$

实际上,地球上许多地方的磁倾角与纬度的关系是服从上述规律的。我们掌握了上述计算公式,便可根据工区所在地的纬度来大致估计当地的地磁场大小了。

但是“世界上的事情是复杂的,是由各方面的因素决定的。看问题要从各方面去看,不能只从单方面看。”上面的计算值只是一级近似地与磁场强度实测值相符,而在某些地区,实测值与均匀磁化球体的理论计算值就有很大的偏差,这是由于地球的磁场实际上是由很多因素所造成的。根据目前的研究结果,认为地磁场 T 是由下列几部分构成的:

$$T = T_n + T_m + T_a + T_e + \delta T$$

其中 T_n ——基本磁场,相当于上述均匀磁化球体的磁场;

T_m ——地壳内部非均匀构造所引起的磁场;

T_a ——地壳表层非均匀磁化所引起的磁场称为异常磁场;

T_e ——地球以外的原因,如大气圈中的电离层及太阳宇宙射线等所引起的磁场;

δT ——磁场随时间变化的部分。

T_m 分布面积很大,可达数万平方公里,表现出陆地与海洋间磁场的差异。

T_a 可分为两部分:一部分 T'_a ,是由较大的区域地质构造所引起,称为区域异常;另一部分 ΔT ,是由较小的地质体例如不大的磁性火山岩体或磁铁矿体所引起,称为地方异常或局部异常。

通常 T_n 、 T_m 和 T_e 对于某一工作地区来说实际上是不变的,它们在我们实测磁场值里是一个固定的部分,所以把它们合起来称为正常场 T_0 :

$$T_0 = T_n + T_m + T_e$$

而 δT 数值很小,井中磁测时,可以忽略不计,所以地磁场 T 可写成:

$$T = T_0 + T_a$$

对于航空磁测或大面积的地面磁法工作来说可以利用 T_a 中的 T'_a 部分研究地球表层

的区域性地质构造;如果磁法勘探的目的,是要解决小的、局部的地质问题时,特别是例如井中磁测目前主要用来寻找钻孔周围盲矿体时,则在目前所能达到的钻孔深度(一般小于1000米)范围内, T'_a 实际上也可以看作是常数,因此正常场 T_0 可看作:

$$T_0 = T_n + T_m + T_s + T'_a$$

则

$$T = T_0 + \Delta T$$

在井中磁测实际工作中,是用仪器在井中测出各点的磁场绝对值 T , 然后减去已知的正常场 T_0 得到与所要研究的磁性体有关的磁异常 ΔT , 这就是我们最终需要研究的对象。至于 T_0 怎么求法,将在第三章谈到。在磁法勘探中,地磁场 T 及正常场 T_0 , 因数值较大,一般直接用 CGSM 或奥斯特(O_e)单位,磁异常 ΔT 数值较小,往往采用较小的单位,称为伽伐(γ)

$$1\gamma = 10^{-5} O_e$$

磁异常 ΔT 既然是局部磁性体所产生的,它的性质就与这些磁性体有关。因此为了更好地了解磁异常的性质,就要先研究各种岩矿的磁性特点。

第三节 岩矿的磁性

岩石和矿石的磁性强弱,通常用它所具有的磁化强度 $\vec{J}$ 来表示,它包括两部分,即感应磁化强度 $\vec{J}_i$ (简称感磁)和天然剩余磁化强度 $\vec{J}_r$ (简称剩磁), $\vec{J} = \vec{J}_i + \vec{J}_r$ 。

$\vec{J}_i$ 主要取决于岩石的磁化率 κ 和作用于岩石的磁场即地磁场 $\vec{T}$, 可以写成 $\vec{J}_i = \kappa \vec{T}$ 。当岩、矿磁化率很大时, $\vec{J}_i$ 还与岩、矿体的形状、大小有关,这就是所谓退磁(或称消磁)影响,我们在下面还要谈到。 $\vec{J}_r$ 是当岩、矿生成时在各种复杂的地球物理和地质因素作用下产生的。一般岩石具有很大的矫顽力,因此 $\vec{J}_r$ 可以在岩石中一直保留下来,且不受现代地磁场的影响,而保持其原有的大小和方向。几乎所有的火成岩和大部分陆屑沉积岩都具有剩余磁化强度。

岩、矿的磁性取决于很多的因素,其中起决定性影响的是岩、矿的矿物成分。因为“事物的性质,主要地是由取得支配地位的矛盾的主要方面所规定的”,而铁磁性矿物是矿物中磁性最大的一种,因此,一般地说,在岩、矿中铁磁性矿物的含量愈多,岩、矿磁性就愈强。此外铁磁性矿物的颗粒大小和形状、生成岩、矿时的磁化场和温度也对岩、矿磁性有不同程度的影响。

表(1-3-1)中列出了几种主要岩、矿的磁性数据,它是根据大量测定结果编成的。

一般地说,在岩石中以火成岩的磁性为最强,沉积岩磁性最弱,变质岩的磁性介于两者之间,有的近于火成岩,有的近于沉积岩,要看它是由什么岩类生成的。

火成岩由酸性岩到基性岩,二氧化硅含量逐渐减少,而岩石中铁磁性矿物的含量则逐渐增加,岩石磁性也就逐渐增强。同一成分火成岩,其侵入岩的磁性与喷出岩的磁性是有所不同的。一般喷出岩的磁性变化较大,其剩磁相对地说较强。其中基性喷出岩的磁性最特殊,

表 (1-3-1)

岩石类别	标本块数	$\kappa \cdot 10^{-6}$ CGSM			$J_r \cdot 10^{-3}$ CGSM		
		最 大	最 小	平 均	最 大	最 小	平 均
磁铁矿及钛磁铁矿矿石	103	2000000	8400	162500	8100000	5000	77400
其它铁矿	42	200000	50	11400	420000	0	17000
超基性岩	127	72000	100	5750	43700	435	10960
基性岩	642	22700	0	2540	42000	0	3880
酸性岩及片麻岩	1596	6590	0	688	196000	0	2235
变质岩	381	36700	0	1471	740	0	166
沉积岩	4859	6300	-4	120	650	0	18

它常有较大的剩磁强度,有时其方向与地磁场相反(所谓反转剩余磁化强度)。不同时代的火成岩往往具有不同的磁性,同一岩体的不同岩相带,也具有不同的磁性。火成岩的 κ 一般是几百——一、二万 $\times 10^{-6}$ CGSM,其剩磁比感磁往往要大得多,比值 $Q=J_r/J_s$ 一般可达2—10,在某些玄武岩中超过100,也有少数情况 $Q<1$ 。

沉积岩的磁化率比火成岩、变质岩和铁矿石的磁化率要小得多,其变化范围由几~几千 $\times 10^{-6}$ CGSM。沉积岩的剩磁大多不超过几 $\times 10^{-6}$ CGSM,但在个别情况下,其值可达几百 $\times 10^{-6}$ CGSM。磁性较强的沉积岩石一般都含有磁铁矿等铁磁性矿物,不过含量很少,仅有千分之几,或百分之几。

变质岩的磁性基本上取决于其原来的岩石磁性。如分布得很广的一种变质岩——片麻岩(和片岩)、正片麻岩,其磁性接近于花岗岩而副片麻岩的磁性则很弱,近于泥、砂质岩石。大理岩及石英岩的磁性也很弱。有时在一些变质岩中含有大量铁质,此时磁性特别强,例如含铁石英岩及某些富含铁质的千枚岩板岩等。由超基性岩石变质生成的蛇纹岩,角闪石片岩(或角闪石岩)等,往往具有很高的磁性。磁性变质岩的一个重要特性就是磁性的各向异性。研究结果表明,剩磁方向接近于片理方向,磁化率在这个方向上也有较大的数值。

各种磁铁矿石,例如钕钛磁铁矿,矽喏岩型磁铁矿及变质型磁铁矿,它们的主要成分是磁铁矿,因而在矿石中具有最高的磁性。其 κ 值变化范围大致是 10^{-2} —1 CGSM,剩磁大体上也具有同样级次。有时甚至剩磁比感磁还大,因此,在研究矿石磁性时,不应忽视剩余磁化强度。

铁矿石的磁性与磁铁矿的含量,一般没有固定的比例关系,因为磁性还受其它因素的影响。例如某些铁矿石的胶结物为磁性矿物时,磁化率就很高,如果胶结物是非磁性矿物,则磁化率大大降低。但在矿石结构相同的情况下,磁铁矿的含量越高,磁性也愈强,对于某些特定矿区,在有利的地质前提下,甚至存在矿石磁性与其磁铁矿含量的固定的比例关系。在这种情况下,通过大量的试验对比工作,就有可能根据磁化率测井的数据来确定铁矿的品位。在我国,这样的工作已有成功例子。

变质铁矿床的矿石,如含铁石英岩,其矿物成分主要与沉积条件有关,对磁化率有很大

影响。随着氧化环境的不同,形成不同类型的矿石,有的含有赤铁矿,有的主要含有磁铁矿,也有的含磁铁矿、褐铁矿及铁的硅酸盐矿物。其中以第二种磁性最高。磁化率随磁铁矿的含量增多及磁铁矿颗粒的增大而增加。磁铁矿含量主要决定于沉积过程,颗粒大小则决定于变质过程。

磁铁矿石经氧化后,其磁性显著降低,这是因为磁性矿物分解成为其它磁性较弱的矿物。

强磁性铁矿石磁性的一个重要特点就是不均匀磁化,其原因有二:一是矿石的矿物成分不均匀,构造复杂;二是由于整个矿体具有复杂的形状,磁化强度的分布也不会是均匀的。在以后作磁化体磁场的理论计算或研究井中磁测资料的解释方法时,为了简单起见,一般还是假定矿体是均匀磁化的。但在研究强磁性铁矿床时,应该考虑不均匀磁化这个具体情况。

综上所述,我们对岩矿磁性有下列几点认识

一、磁性是岩、矿的重要物理参数之一。不同岩类,其磁性差异是很大的,即使同一种岩类,其不同岩石也有一定的磁性差异。特别应指出的是,在大多数情况下,磁铁矿石都比其它任何岩石具有大得多的磁性,这些磁性差异就是井中磁测或其它磁法勘探用来找矿或研究其它地质问题的物理基础。因此,我们首先应该对所在工区的岩、矿磁性有一个比较全面和充分的了解。

二、岩、矿的磁化强度是由感磁和剩磁两部分组成的。大部分火成岩,特别是基性和超基性火成岩以及铁矿体都有很大的剩余磁性,有时剩磁比感磁还大,因此我们在研究岩石磁性时,不仅要测定它的磁化率也要测定其剩磁。不仅要知道剩磁的大小,也要尽可能掌握它的方向。虽然在大多数情况下,剩磁的方向大体上与感磁相同,但是在少数情况下,剩磁和感磁方向相差很大,甚至出现方向相反的现象,我们必须注意这一点。

三、岩、矿的磁性与很多的因素有关,例如矿物成分,颗粒形状、大小,矿体的形状以及其它成矿条件,因此也是一种比较复杂的参数。对相同岩石或矿石进行个别抽样测量时往往会得到迥然不同的磁参数值,这是因为岩、矿的矿物成分及其结构特点微观地看是很不均匀的。因此只能通过大量岩、矿标本的测定和统计才能得到比较正确的岩、矿磁性概念。在这里标本的数量和代表性是很重要的,因为“任何质量都表现为一定的数量,”如果只对区内不同岩、矿的少数标本进行研究,或所取标本的代表性不够,便以偏概全地下结论,那就会得出错误的结论来。

第四节 岩、矿体的磁化强度及其与岩、矿体形状之间的关系

根据前述的理论,磁性体在外磁场作用下,其分子磁矩将沿外磁场的方向整齐排列起来。为了叙述方便起见,我们用许多假想的元磁体来代替分子电流。设磁性体为直立长方柱体,其边长各为 a 、 b 、 l (图1-4-1),沿 l 方向自上而下磁化,则 $\vec{J}$ 与柱体长轴平行。当磁性体内部均匀磁化时,元磁铁的磁轴方向也都沿着垂直方向而且正负磁极一一对应,互相

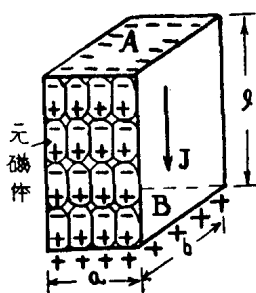


图 1-4-1

抵消, 只有顶底两水平面 A, B 分别感应出负、正磁荷。

设面 A 的磁荷密度为 σ , 其上的负磁荷 $m = a \cdot b \cdot \sigma$, 同理, 在底面 B 上的正磁荷 m 也等于 $a \cdot b \cdot \sigma$ 。整个磁性体的总磁矩 $M = ml = ab\sigma l$ 。

根据定义, J 为单位体积的磁矩, 亦即:

$$J = \frac{M}{V} \quad (1-4-1)$$

V 为长方柱体的体积, 等于 abl

将 M, V 的值代入(1-4-1)式, 得:

$$J = \sigma \quad (1-4-2)$$

由于 J 与长方柱体长边平行, 因此在四个直立面上没有感应出磁荷, 其 $\sigma = 0$ 。

假若 J 与磁荷面不垂直, 而与磁荷面交一个夹角 α , 则有效磁化强度 $J_n = J \sin \alpha$ (见图 1-4-2)。此时:

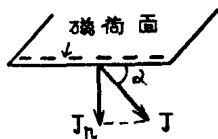


图 1-4-2

$$J_n = \sigma \quad (1-4-3)$$

显然, 当 $\alpha = 0$ 时, $\sigma = 0$; 当 $\alpha = 90^\circ$ 时, $\sigma = J$ 。

由此可知, 当磁性体被外磁场均匀磁化时等效于在磁化场磁力线进入的那一面感应出负磁荷, 在磁化场磁力线出去的那一面感应出正磁荷, 其面磁荷密度的大小, 在数值上等于磁化强度 J 在该面垂直方向上的投影。

磁化强度 J 是磁性体的一个重要物性参数。当磁性体的大小、形状和产状决定之后, 磁化强度的大小和方向就成为决定磁异常形态和强度的主要因素了。因为 J 决定了磁荷在物体表面的分布特点以及面磁荷密度的大小, 这些就是形成磁异常的最终原因。

当 J 的方向是垂直地面时, 称为物体被垂直磁化, 若 J 的方向是任意倾斜的则称物体被斜磁化。

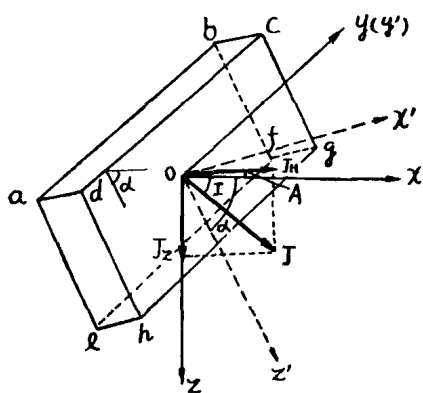


图 1-4-3

当斜磁化的方向与层状矿体倾向一致时则称为顺层磁化。斜磁化使磁异常的研究变得复杂, 为了便于计算起见, 我们往往把磁化强度 J 分解为三个互相垂直的分量来进行研究。现以图(1-4-3)的例子来说明分解的方法。设三度立方板状体走向水平, 倾角为 α , 其磁化强度 J 是任意方向的。我们一般将它分解成与立方体三组面相平行的三个分量, 即在 x', y', z' 直角坐标轴上的投影 J'_x, J'_y, J'_z 。其中 x' 轴与 $dcgh$ 面 (或 $abfe$ 面) 垂直; y' 轴沿着板的走向, 亦即与 $adhe$ 面 (或 $bcgf$ 面) 垂直; z' 轴沿着板的倾向, 亦即与 $ehgf$ 面 (或 $abcd$ 面) 垂直。为了便于计算, 我们再设一个参考坐标系 x, y, z , 其中 z 轴垂直向下, x, y 在水平面内, y 轴沿板的走向与 y' 轴重合, x 轴在板的倾向面内。

先将 J 分解为水平分量 J_H 和垂直分量 J_z 两部分:

$$\left. \begin{aligned} J_H &= J \cos I \\ J_z &= J \sin I \end{aligned} \right\} \quad (1-4-4)$$

其中 I 为 J 的倾角。

然后将 J_H 分解为沿 x, y 轴的两个分量:

$$\left. \begin{aligned} J_x &= J_H \cos A \\ J_y &= J_H \sin A \end{aligned} \right\} \quad (1-4-5)$$

其中 A 为 J_H 与 x 轴的夹角

于是 J'_x, J'_y, J'_z 分别为:

$$\left. \begin{aligned} J'_x &= J_x \sin \alpha - J_z \cos \alpha = J(\cos I \cos A \sin \alpha - \sin I \cos \alpha) \\ J'_y &= J_y = J_H \sin A = J \cos I \sin A \\ J'_z &= J_x \cos \alpha + J_z \sin \alpha = J \cos I \cos A \cos \alpha + J \sin I \sin \alpha \\ &= J(\cos I \cos A \cos \alpha + \sin I \sin \alpha) \end{aligned} \right\} \quad (1-4-6)$$

由上述可知, 外磁场的方向不与立方板状体任一面相垂直时, 都可在六个面上感应出三组大小相等方向相反的磁荷面。

$abcd$ 面(负磁荷)与 $ehgf$ 面(正磁荷)为一组, 其面磁荷密度 $\sigma_1 = J'_z$;

$abfe$ 面(负磁荷)与 $dcgh$ 面(正磁荷)为一组, 其面磁荷密度 $\sigma_2 = J'_x$;

$adhe$ 面(负磁荷)与 $bcgf$ 面(正磁荷)为一组, 其面磁荷密度 $\sigma_3 = J'_y$ 。

按照磁场的叠加原理, 此板状磁性体在体外任一点所产生的磁场就是这三组磁荷面所产生磁场的总和。

从上述推导可看出, 若 J 的大小和方向发生变化, 则各个面的磁荷分布情况就会发生变化, 导致整个磁异常的变化, 因此正确确定岩矿的磁化强度是很重要的。

对于无限大强磁介质或有限大弱磁性物质来说, 可采用公式(1-1-2)来确定 J , 即:

$$J = \chi H$$

J 的方向与外磁场 H 的方向相同。

但对于磁化率很大的有限大铁磁体来说, J 值还取决于物体的形状。可举无限大薄板的例子来说明(图 1-4-4)。

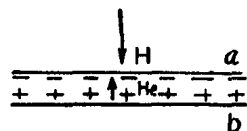


图 1-4-4

当外磁场方向垂直于板面时, 在 a 面感应出负磁荷, 在 b 面感应出正磁荷, 它们在板的内部也要产生一个附加磁场 H_e , 其大小与磁化强度 J 成正比, 方向则相反, 即:

$$H_e = -NJ$$

比例系数 N 称为物体的退磁系数(或消磁系数)。

由于 H_e 的存在, 使板状体的内磁场 H_B 削弱了, 它实际上不等于 H , 而是 H 与 H_e 之和, 即:

$$H_B = H - NJ$$

因为 $J = \chi H_B$, 代入上式得:

$$H_B = \frac{H}{1 + \kappa N}$$

再乘以 κ , 得到

$$J = \frac{\kappa H}{1 + \kappa N} \quad (1-4-7)$$

退磁系数 N 取决于物体的形状, 当均匀磁化, 且物体形状规则时, 可用数学方法计算出 N 值, 然后对 J 值进行改正。

一、圆球体的退磁系数

当球体被磁化后, 其表面产生两个异号的半球磁荷面, 在球的内部产生一个与 J 方向相反的附加磁场 H_e (图 1-4-5)

根据理论计算得

$$H_e = -\frac{4}{3}\pi J$$

$\therefore$

$$N = \frac{4}{3}\pi$$

(1-4-8)

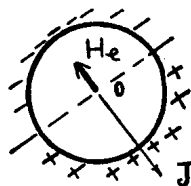


图 1-4-5

二、椭球体的退磁系数

取较简单的情形, 设椭球体三个半轴为: a, b, c 其中 $a=b \neq c$, 成为旋转椭球体。

(1) 当 $a=b < c$, 即为长球体时(图 1-4-6), 平行于 c 轴方向的退磁系数为:

$$N_e = 4\pi \left(\frac{1}{e^2} - 1 \right) \left(\frac{1}{2e} \ln \frac{1+e}{1-e} - 1 \right) \quad (1-4-9)$$

垂直于 c 轴方向的退磁系数为

$$N_a = 2\pi \left(\frac{1}{e^2} - \frac{1-e^2}{e^3} \ln \frac{1+e}{1-e} \right) \quad (1-4-10)$$

上两式中 e 为椭球体的椭圆率, $e = \sqrt{\frac{c^2 - a^2}{c^2}}$ 。

(2) 当 $a=b > c$, 亦即为扁球体时, 平行及垂直于 c 轴的退磁系数各为(图 1-4-7):

$$N_e = 4\pi \left(\frac{1}{e^2} - \frac{\sqrt{1-e^2}}{e^3} \sin^{-1} e \right) \quad (1-4-11)$$

$$N_a = 2\pi \left(\frac{\sqrt{1-e^2}}{e^3} \sin^{-1} e - \frac{1-e^2}{e^3} \right) \quad (1-4-12)$$

其中 e 仍为椭圆率, $e = \sqrt{\frac{a^2 - c^2}{c^2}}$



图 1-4-6

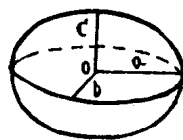


图 1-4-7