

黄国祥 余惠祥 蔡文成 编著



应用地球物理

——磁法勘探

中南工业大学出版社

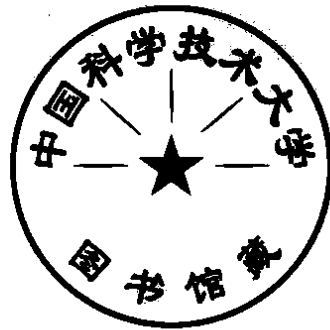
中南工业大学出版社

052843

黄国祥、余惠祥、蔡文成 编著

应用地球物理

——磁法勘探



中南工业大学出版社

内 容 提 要

本书包括磁法勘探的最基本内容。全书共分六章，系统而又简明地介绍了磁场的基本理论、地球的磁场、岩（矿）石的磁性、磁力仪、野外工作方法、磁性体的正反演理论、磁异常的转换与处理以及磁测资料的地质应用等。

本教程有以下特点：

1. 篇幅、内容有较大的调整，力求适合新教学计划的要求，可作60学时左右的教学用；
2. 在磁场基本理论、磁性体正反演、磁异常的处理等方面体系上有较大删改和补充，力求突出“三基”内容；
3. 在磁力仪和野外方法方面，介绍了高精度磁测的内容，为磁法的第二代普查工作，作一定准备；
4. 全书采用SI制。

本教程是物探专业学生的通用教材，也可供地质院校教师和物探工作者参考。

应用地球物理——磁法勘探

黄国祥 余惠祥 蔡文成 编著

责任编辑：黎 耘

*

中南工业大学出版社出版发行
湖南省地质测绘印刷厂印装
湖南省新华书店经销

*

开本：850×1168 1/32 印张：7.5 字数：195千字 插页1

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

印数：0001—2000

*

ISBN 7-81020-137-9/TD·006

定价：1.45元

绪 论

地球是一个弱磁性体，在地球表面和地球以外的直接观测都证明地球的周围存在磁场。能自由转动的磁针，总是静止在南北方向，这就是地球存在磁场的最简单又最早的实验证明。早在战国时期（公元前403—前221年）我国就用天然磁铁磨成指南针，称为司南。开始了地磁场应用研究。

此后，迟至十六世纪，因航海的需要，地球磁场的研究才有了蓬勃的发展。1600年出版的W. Gilbert的《磁铁、磁体和大磁体——地球》一书，通过实验提出地球自身就是一个巨大的磁体，它的两极与地理极相重合。他指出地磁的成因不应该在地球之外，而应该从地球内部去寻找。1838年 Gauss 写了《地球概论》一书，形成 Gauss 理论。它分析了地磁结构问题，奠定了关于地球磁场的现代概念的基础。

现代地磁学的研究结果表明，地磁场最少已存在30亿年。其磁场可分为基本磁场、异常磁场和地球外部成因磁场三大部分。基本磁场、异常磁场是球内成因的磁场，也是地磁场的主要部分。球外成因磁场其值很小，在磁法勘探中，一般作干扰看待，给予消去。

基本磁场由位于地球中心的偶极子场与来自地核的非偶极子磁场组成。它的基本部分是稳定静磁场。此稳定部分，据说10亿年之内大小并无明显变化，而方向则有过数以千计的多次倒转。称为地磁场极性反转，它是古地磁研究的一个重要方面。

基本磁场存在长期变化。这种变化以非偶极子场为主，偶极子场的贡献较小。长期变化表现形式颇为复杂，主要为地磁场的向西漂移，另外还有地球磁矩有周期性的变化等等形式。地磁场长期变化的研究曾经成为研究地磁问题的焦点，因为它反映了地球

内部构造的变化，通过长期变化可以研究很多地学的基本问题。例如，地磁场的基本磁场的成因这样的理论问题。但是地磁场的基本磁场的成因至今没搞清楚。已有过很多假说，均难于圆满解释各种现象，而经受不住时间的考验。近期提出的自激发电机假说，是获得较多人承认的认为最合理的假说，也还有待进一步发展和完善。

异常磁场是磁法勘探研究的主要对象。它是由地壳岩矿石具有不同磁性而形成的局部磁场，一般称作磁异常。早在十七世纪，瑞典人就开始用简单的罗盘观测磁场来寻找磁铁矿。1870年瑞典人 Thalen 和 Tiberg 制成了被称为万能磁力仪的测地磁场相对变化值的仪器，用来研究异常磁场，开展了较广泛的磁法找铁矿工作。这是应用地球物理学开始发展的一个重要标志。1915年德国人 Schmidt 制成刃口式垂直磁秤，大大提高了精度。磁法不仅在寻找铁矿中起作用，还开始用来找其他矿产，并且在圈定磁性岩体、研究地质构造以及寻找油田、盐丘中也得到应用。1936年苏联人 Лагачев 试用成功感应式航空磁力仪，大大提高了磁测速度和磁测范围，使磁法勘探工作进入了一个新的阶段。在五十年代末和六十年代初，苏联、美国又相继把质子旋进式磁力仪移到船上，开展了海洋磁测。磁法被用来研究包括海洋在内的全球构造。在海洋磁测和古地磁研究成果支持下，大陆漂移说在沉默近半个世纪后又复活了。并进一步发展形成一种大地构造理论，称之为板块构造。引起了影响深远的地学领域的革命。

随着现代科学技术的发展，磁法勘探仪器精度越来越高，已将磁力仪装置在人造卫星中进行遥测；也可在空中、海洋上、井中、地面进行不同分量，不同参量的磁测。电子计算机的广泛应用使磁场观测方式，数据整理，成果解释利用，资料储存编排均产生了变化。由于仪器精度提高，方法的改进，解释理论的不断发展和完善。磁测正在向更广阔的领域发展。

我国的磁法工作是本世纪三十年代在云南开始的，直到解放

前，十多年仅停留在科学试验阶段。全国解放后我国的物探工作得到大的发展。地面磁测、航空磁测、井中磁测和海洋磁测均已相继开展。到1985年底为止，除台湾省岛屿与其周围，南海南部以及西藏西部尚为空白区外，已几乎覆盖全国。航线间距500m到10km的有效覆盖面积内陆地区达到 $836 \times 10^4 \text{km}^2$ ，海域为 $120 \times 10^4 \text{km}^2$ 。地面磁测也进行了大量的工作。在各种金属矿物探方法中，磁法投入的实际工作量最大，取得的效果也最好。建国30余年来，以磁法为主发现的各类矿床449处。多年来用磁法寻找铁矿的效果最显著，我国大多数磁铁矿矿床都是根据磁法发现或扩大的。利用与磁性矿物共生的关系，寻找其他金属矿和非金属矿也取得很大的效益。在各种比例尺的地质测量中，磁法被成功地用来圈定侵入岩体，研究各种构造，进行大地构造分区，编制各种推断地质图以及进行成矿远景区的划分等工作。

与国外磁法工作相比，我国在磁法勘探的理论研究地质解释水平、工作开展的广泛程度、所取得的地质效果方面是具有先进水平的或落后不多的。但仪器设备还比较落后，岩、矿石的磁性实验室研究，海洋磁测等方面还比较薄弱。

磁法勘探作为一门课程是首先在苏联开设的，1940年由Лагачев等人出版了第一本《磁法勘探教程》。西方国家则一般把磁法勘探作为应用地球物理学中的一个篇章来对待。我国五十年代初开设这门课程，三十多年来已逐步形成了课程的体系。这门课的理论基础有三个，一是有关岩矿磁性的理论；二是地磁场和磁性体磁化的理论；三是磁化体磁场的数学理论。其主要工作方法相应地为：岩矿石测定方法；磁异常观测方法；异常处理和解释方法。为了使学生能牢固地熟悉这些基本理论，学会基本方法，掌握必要的基本技能，本教程共分六章编写。第一章是理论基础；第二章是基本工作方法；第三章是正问题；第四章是反演方法；第五章是异常处理；第六章为地质解释方法及应用。本书全部使用SI制单位，为了方便对比，在书末附有SI制和CGSM制的

对比表。

本教程第一章由黄国祥、余惠祥、蔡文成编写。绪言、第五章由黄国祥编写。第二章、第四章由蔡文成编写。第三章、第六章由余惠祥编写。黄国祥对全书作了统编修改工作。程方道教授对全书作了审查和修改。

感谢桂林冶金地质学院张秋光教授、武汉地质学院张昌达高级工程师、成都地质学院郭绍雍副教授审阅了全部手稿，提出了宝贵意见。吴智圣和刘尚愈工程师为本教材作了不少工作，特表感谢。

在编写本书过程中，参阅了以往统编教材和兄弟院校、科研单位和生产部门的资料及图件。在此表示衷心的感谢。

由于编写人员的业务水平有限，改用SI单位制来编写教材，涉及相当多的公式和所有实际资料均应作改动，深感编写和统编时间短促，书中的缺点和错误，在所难免，敬请读者，不吝赐教。

编者

1986年12月

SY27/02

目 录

绪 论	(i)
第一章 磁法勘探的基本理论	(1)
第一节 稳定磁场的基本理论	(1)
一、磁的现象和磁的理论	(1)
二、磁位和磁位方程	(5)
三、磁性体磁位的表达式	(9)
四、磁性体磁位的球谐级数展开	(14)
五、磁位Laplace方程解的积分表达式	(16)
第二节 地球磁场	(21)
一、地磁场要素	(21)
二、地磁场的构成和随时间变化	(22)
三、地球基本磁场	(27)
四、地球中心磁偶极子磁场分析	(34)
第三节 岩石和矿物的磁性	(36)
一、物质的宏观磁性	(37)
二、铁磁性矿物和铁磁性矿物地球化学特征	(39)
三、岩石磁性	(42)
四、有限物体磁化强度和物体形状的关系	(47)
第二章 磁场的测量	(51)
第一节 测量磁场的仪器	(51)
一、机械式磁力仪	(51)
二、电子式磁力仪	(54)
三、测量标本磁性的仪器	(59)
第二节 磁测的工作方法	(61)
一、地面磁测	(62)
二、航空磁测	(67)
三、海洋磁测	(69)

第三章 均匀磁化规则磁性体磁异常	(70)
第一节 磁性体的有效磁化强度的计算	(71)
一、不考虑消磁作用时有效磁化强度的计算.....	(72)
二、考虑消磁作用时有效磁化强度的计算.....	(73)
第二节 磁性体磁异常的一般表达式	(75)
一、均匀磁化体磁异常表达式.....	(76)
二、不同方向磁化时均匀磁化体磁异常各分量之间的 互换.....	(78)
三、总磁异常的物理意义及其表达式.....	(81)
第三节 二度磁性体磁异常	(83)
一、二度水平磁偶极线的磁异常.....	(84)
二、水平二度棱柱体的磁异常.....	(92)
三、地质构造带的磁异常.....	(108)
第四节 三度和似二度磁性地质体的磁异常	(114)
一、三度磁性体的磁异常.....	(115)
二、似二度磁性体磁异常.....	(120)
第五节 磁性体与其磁异常图对应关系的 主要特点	(122)
一、磁性体与其磁异常平面图的对对应关系.....	(122)
二、磁性体与其磁异常的剖面曲线图对应关系.....	(123)
三、磁性体与其磁异常空间断面等值线图的 对应关系.....	(123)
第四章 确定磁性体几何和物理参量的方法	(125)
第一节 确定规则磁性体几何和物理参量的方法	(125)
一、特征点异常反演方法.....	(125)
二、剖面异常反演方法.....	(131)
三、断面异常反演方法.....	(150)
四、平面异常反演方法.....	(154)
第二节 确定不规则磁性体几何和物理	

参量的方法.....	(155)
一、选择法概述.....	(156)
二、最优化选择法.....	(157)
三、量板法.....	(158)
第三节 反演的多解性问题.....	(159)
第五章 磁异常转换与滤波	(160)
第一节 空间域位场转换的物理实质及原理.....	(161)
一、实测磁异常的圆滑处理.....	(161)
二、向上延拓圆滑异常.....	(163)
三、向下延拓提高水平分辨率.....	(166)
四、计算导数定性划分区域场与局部场.....	(169)
五、将磁异常化向磁极使磁异常图易于识别和 解释.....	(177)
六、各分量之间的换算.....	(181)
第二节 波数域建立位场滤波系统.....	(185)
一、基本概念.....	(185)
二、位场转换的各种波谱算子.....	(192)
三、划分区域场与局部场的最小平方滤波.....	(196)
四、波数域位场滤波系统.....	(198)
第六章 磁测资料的地质解释	(200)
第一节 磁测资料地质解释的一般概念.....	(200)
一、磁测资料地质解释的目的和内容.....	(200)
二、磁测资料地质解释的基本方法和步骤.....	(201)
第二节 不同地质工作阶段磁测资料的地质解释.....	(208)
一、区域地质调查中磁测资料地质解释.....	(209)
二、普查找矿中磁测资料的地质解释.....	(217)
三、矿产详查勘探中磁异常的地质解释.....	(221)
主要参考文献	(225)
附录 CGSM 制和SI制中磁学量及主要公式对照表	(227)

第一章 磁法勘探的基本理论

第一节 稳定磁场的基本理论

在磁法勘探中，主要观测和研究的是磁性地质体在空中、地面或地下的稳定磁场的磁感应强度，通常称为磁性体的磁异常。近代物理学理论已证明：物质分子电流的实际存在，构成分子磁矩，这是物质磁性的本质。所有磁性体均是无数“基本分子磁体”的总和。稳定磁场的基本理论是阐述分子磁体的磁性和磁场的特征及基本规律。

一、磁的现象和磁的理论

(一) 磁性、磁体和磁极

自然界中的物体具有能够吸引铁、钴、镍等物质的特性称为磁性。一切具有磁性的物体称为磁体，在自然界中，具有宏观磁性的磁体可分为二类：一类是载流导体；另一类是被磁化而具有磁性的磁介质体，简称磁性体。在磁法勘探中，把经地磁场磁化作用后具有磁性的矿体或岩体称为磁性地质体或简称磁性体。

人们对磁体的磁性进行观测，发现其总有两个磁性最强的端点，而中间部分几乎没有磁性。磁体上这两个磁性最强的端点叫作磁极。将磁性体两极水平放置，使之能自由旋转，则可发现它的一个极永远近似地指向北方，而另一个极则永远近似地指向南方。通常把指向北方的磁极叫作北极或正磁极，用 N 表示，指向南方的磁极叫作南极或负磁极，用 S 表示。磁极具有同性相斥和异性相吸的性质。

(二) 磁性体的磁矩和磁化强度

1. 磁性体的磁矩

实验证明：把任何一个磁性体分成两半后，其中每一部分仍

是具有N极和S极的偶极磁性体；再分下去也是如此，永远得不到具有单磁极的磁性体。为了解释这种现象，Coulomb提出了“分子磁偶极子”的假说，即假设磁介质的每个分子相当于荷质相等，符号相反，相距极小的一对所谓“磁荷”组成的“分子磁偶极子”；也就是说，任何一个磁性体都是由磁偶极子组成的分子磁体。

当分子磁偶极子以正磁荷“ $+m$ ”和负磁荷“ $-m$ ”相距 l 而存在时，按电偶极子类比，把 m 和 l （ l 为极距的矢径）的乘积定义为分子磁偶极子的磁矩，简称分子磁矩，以 p_m **表示，则有：

$$p_m = ml \quad (1.1.1)$$

在国际单位制中，磁矩的单位为 $A \cdot m^2$ 〔安培·米²〕。

后来 Ampere 的研究成果，揭示了磁现象的本质，证明了磁现象的本质是电荷的运动。物质具有磁的性质，是由于物质分子（或原子）中的电子运动，形成所谓分子电流。Ampere 把分子磁偶极子的存在解释为分子电流的存在。近代物理学进一步研究证明，分子电流是实际存在的；而不同物质的分子和原子，由于其电子壳层中的电子数量及其相互作用的不同，使物质具有不同的磁性。

将分子电流等效为一微小的闭合电流圈，则此微小的封闭电流的磁矩（即分子电流磁矩），可表示为：

$$p_m = I_0 sn \quad (1.1.2)$$

式中 I_0 为分子电流强度， S 为电流圈所围平面面积， n 为电流圈所在平面的法向单位矢量。每一个分子都形成一个分子磁矩。

由上所述可见，不论是假设“磁荷”组成的分子磁偶极子，还是实际存在的分子电流，磁介质中“分子磁偶体”是共同的，是实际存在的。也就是说，磁性体是由无数的基本的“分子磁偶体”组成。而磁性体的磁性是由“分子磁偶体”的磁矩——分子

*受条件所限书中用黑正体符号代替按国标规定应排黑斜体的符号。

**脚（角）标用小写正白体代替小写斜白体。

磁矩所决定。

磁性体中所有分子磁矩的矢量和构成磁性体的总磁矩。磁性体总磁矩决定磁性体宏观磁性的强弱。

2. 磁介质的磁化和磁化强度

凡具有和磁场相互作用特性的物质称为磁介质，由磁介质组成的有限体称为磁介质体。在通常状态下，磁介质体内分子电流的方向杂乱无章，或者说分子磁偶极子排列紊乱（图1.1.1），

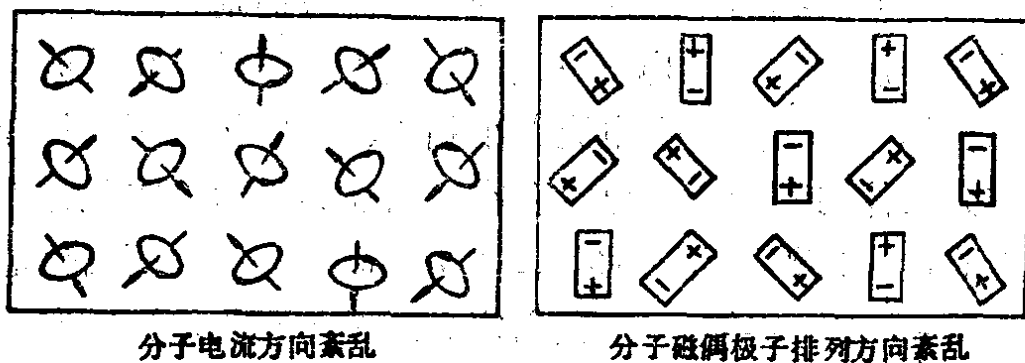


图1.1.1 未被磁化的磁介质

磁介质体内的总磁矩为零，而不显示宏观磁性。

当磁介质体受到外磁场作用时，其内的分子磁矩在一定程度上按外磁场作用方向成定向排列（图1.1.2），因而磁介质体的

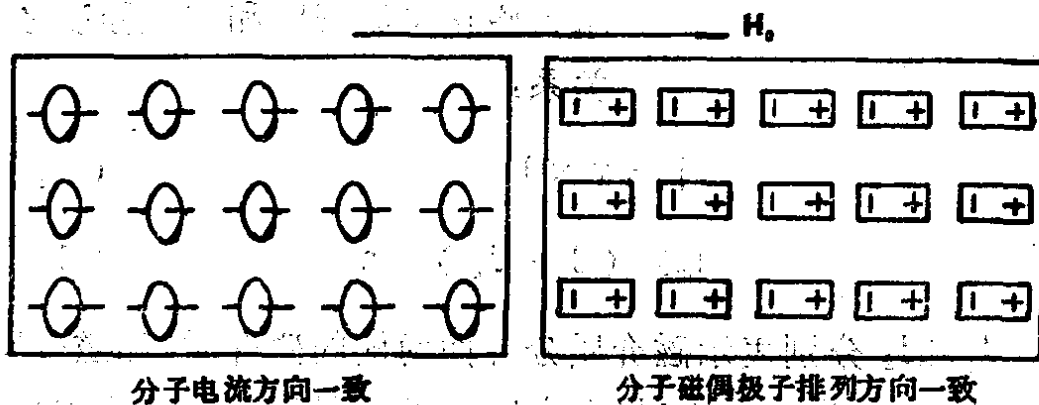


图1.1.2 被磁化的磁介质

总磁矩发生变化，其总磁矩不等于零，使原来不显宏观磁性的磁介质体显示出宏观磁性，这种现象称为磁介质体的磁化。磁性体是被磁化后的磁介质体。

磁性体被磁化的程度，用磁化强度矢量 \mathbf{J} 表示，它定义为单位体积的磁性体所具有的磁矩。令物理无穷小体积 ΔV 中的总磁矩为 $\Sigma \mathbf{p}_m = \Delta \mathbf{M}$ ，则磁化强度为：

$$\mathbf{J} = \frac{\Delta \mathbf{M}}{\Delta V} \quad (1.1.3)$$

磁化强度的单位为 A/m 〔安培/米〕。

磁介质体被磁化后，其分子电流在磁性体内沿一定方向流动谓之磁化电流。我们定义通过与磁化电流方向垂直的单位面积的磁化电流强度为体磁化电流密度，以 \mathbf{j}_m 表示。当磁介质被均匀磁化时，在体内由于其分子电流大小相等、方向相反而互相抵消，因而磁介质体内部无磁化电流存在，只在其表面（或磁介质分界面）上的电流未被抵消（图 1.1.3），而形成所谓面磁化电流。

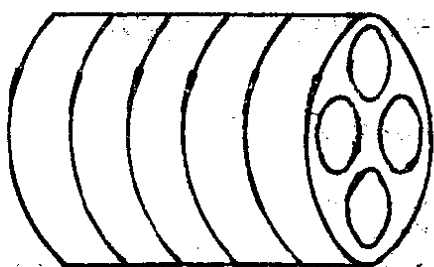


图 1.1.3 面磁化电流形成示意图

我们定义通过与磁化电流方向垂直的磁介质体表面（或磁介质分界面）上单位长度线段的磁化电流强度为面磁化电流密度，以 \mathbf{i}_m 表示。

磁化电流密度同样反映磁介质体被磁化的程度。根据电磁学理论，可求得磁化电流密度和磁化强度之间的关系：

$$\mathbf{j}_m = \nabla \times \mathbf{J} \quad (1.1.4)$$

$$\mathbf{i}_m = (\mathbf{J}_1 - \mathbf{J}_2) \times \mathbf{n}_{12} \quad (1.1.5)$$

式中 \mathbf{J}_1 和 \mathbf{J}_2 分别表示磁介质分界面两侧的磁介质1和磁介质2的磁化强度； \mathbf{n}_{12} 为由介质1指向介质2的分界面法向单位矢量。如果磁介质体周围是非磁介质（如空气），则 $\mathbf{J}_2 = 0$ ，此时面磁化电流密度为：

$$\mathbf{i}_m = \mathbf{J} \times \mathbf{n} \quad (1.1.6)$$

式中 \mathbf{J} 为磁介质的磁化强度； \mathbf{n} 为磁介质体表面的外法向单位矢量。

由上所述可知，磁性体被磁化的程度，可以根据磁化电流密度，也可以根据磁化强度的大小来判断。应指出，磁性体的磁化电流密度是很难直接测定的。而磁性体的磁化强度却可以直接精确测定。因而，通常用磁化强度矢量表示磁性体被磁化的程度，即用磁化强度矢量描述磁性体磁性强弱。

二、磁位和磁位方程

(一) 磁感应强度与矢量磁位

根据电磁学理论，在均匀载流介质中的任意观测点 $P(x, y, z)$ 处的磁感应强度 \mathbf{B} 为：

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} \quad (1.1.7)$$

$$\text{式中} \quad \mathbf{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{\mathbf{j}}{r} dV \quad (1.1.8)$$

称为电流磁场的矢势，简称矢量磁位。它是一个没有直接物理意义的引进辅助量，但它引入却又是电流磁场的客观性所决定的。 μ_0 为真空中的导磁率（单位： H/m ）， \mathbf{j} 为场源 $Q(\xi, \eta, \zeta)$ 点处的总电流密度，它等于介质中传导电流密度 \mathbf{j}_f 和磁化电流密度 \mathbf{j}_m 之和，即：

$$\mathbf{j} = \mathbf{j}_f + \mathbf{j}_m \quad (1.1.9)$$

由式 (1.1.8) 可以证明：

$$\left. \begin{aligned} \nabla \cdot \mathbf{A} &= 0 \\ \nabla^2 \mathbf{A} &= -\mu_0 \mathbf{j} \end{aligned} \right\} \quad (1.1.10)$$

从而得：

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = \nabla \cdot (\nabla \times \mathbf{A}) = 0 \quad (1.1.11)$$

和

$$\nabla \times \mathbf{B} = \nabla \times (\nabla \times \mathbf{A}) = \nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A} = -\nabla^2 \mathbf{A} = \mu_0 \mathbf{j} \quad (1.1.12)$$

由式(1.1.11)和(1.1.12)可知,在载流介质中,磁感应强度 \mathbf{B} 是一个无源有旋场。

因 $\mathbf{j}_m = \nabla \times \mathbf{J}$, 对于无磁介质区 ($\mathbf{J} = 0$) 和均匀磁化体内部 ($\mathbf{J} = \text{const}$), 当无传导电流时 ($\mathbf{j}_f = 0$), 由式(1.1.10) ~ (1.1.12) 知:

$$\nabla \cdot \mathbf{A} = 0 \quad (1.1.13)$$

$$\nabla^2 \mathbf{A} = 0 \quad (1.1.14)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (1.1.15)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = 0 \quad (1.1.16)$$

式(1.1.10)和(1.1.14)分别称为稳定磁场矢量磁位的 Poisson 方程和 Laplace 方程,是稳定磁场矢量磁位的基本方程。由式(1.1.15)和(1.1.16)知,在无磁介质区或均匀磁化体内部,当无传导电流存在时,磁感应强度 \mathbf{B} 是一个无源无旋场,即调和场。

(二) 磁场强度和标量磁位

由式(1.1.4), (1.1.9)和(1.1.12)得:

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j}_f + \mu_0 \nabla \times \mathbf{J}$$

$$\nabla \times (\mathbf{B} - \mu_0 \mathbf{J}) = \mu_0 \mathbf{j}_f$$

引入物理量

$$\mathbf{H} = \mathbf{B} / \mu_0 - \mathbf{J} \quad (1.1.17)$$

代入前式得:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j}_f \quad (1.1.18)$$

矢量 \mathbf{H} 称为磁场强度,单位为 A/m。

对于各向同性介质,当 \mathbf{H} 不很大时,实验证明:

$$\mathbf{J} = \kappa \mathbf{H} \quad (1.1.19)$$

式中 κ 称为磁介质的磁化率,它表示磁介质能被磁化程度,是个

纯量。将式(1.1.19)代入(1.1.17)得:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{B} &= \mu_0(1+\kappa)\mathbf{H} = \mu\mathbf{H} \\ \text{或} \quad \mathbf{B} &= \mu_0\mu_r\mathbf{H} \end{aligned} \right\} \quad (1.1.20)$$

$$\left. \begin{aligned} \mu_r &= \frac{\mu}{\mu_0} = (1+\kappa) \\ \mu &= (1+\kappa)\mu_0 \end{aligned} \right\} \quad (1.1.21)$$

μ_r 和 μ 分别为磁介质的相对导磁率(是个纯量)和导磁率(单位: H/m)。

式(1.1.17)和(1.1.20)表示了 \mathbf{B} 和 \mathbf{H} 的关系,但(1.1.20)只适应各向同性磁介质,而(1.1.17)则不受此条件限制。

由式(1.1.11)和(1.1.17)有:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = \nabla \cdot (\mu_0 \mathbf{H} + \mu_0 \mathbf{J}) = 0$$

故得 $\nabla \cdot \mathbf{H} = -\nabla \cdot \mathbf{J} \quad (1.1.22)$

由式(1.1.18)和(1.1.22)知,在载流介质中,磁场强度 \mathbf{H} 是有源有旋场。

对无磁介质区($\mathbf{J}=0$)和均匀磁化体内部($\mathbf{J}=\text{const}$),当无传导电流($\mathbf{j}_1=0$)时,由式(1.1.18)和(1.1.22)得:

$$\nabla \times \mathbf{H} = 0 \quad (1.1.23)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (1.1.24)$$

可见,在无传导电流的无磁介质区或均匀磁化体内部,稳定磁场的磁场强度 \mathbf{H} 是一个无源无旋场,即调和场。

由上分析可知,在无传导电流的无磁介质区和均匀磁化体内部, \mathbf{B} 和 \mathbf{H} 均为调和场。因而可以把它们统一起来研究。这一点在磁法勘探中,对磁性体磁异常分析研究是很有实际意义的。但是,在无传导电流的非均匀磁化体内部,由于:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (1.1.11)$$