

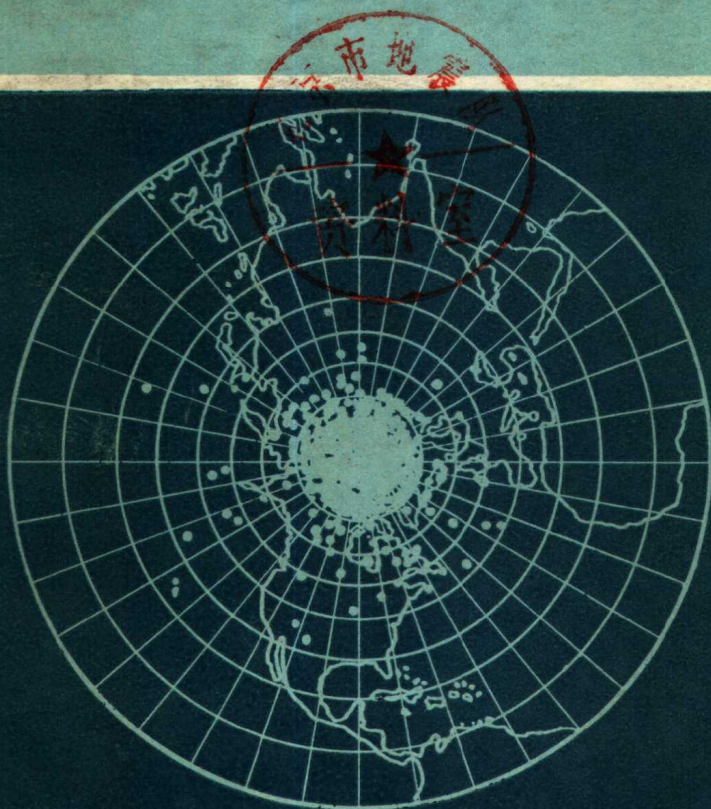
01672

56.273

02478

古地磁学的原理和应用

〔英〕D. H. 塔林 著



科学出版社

古地磁学的原理和应用

〔英〕D. H. 塔林 著

《古地磁学的原理和应用》翻译组 译

科学出版社

1978

内 容 简 介

本书较全面地叙述了古地磁学的基本原理及其应用于地质学和地球物理学问题的解释。

全书共分八章，扼要地叙述了物理学基础、常见的磁性矿物与鉴别、各种岩石获得的磁性、岩石的剩磁稳定性以及磁的各向异性和不均匀性，并对如何采集样品、岩石磁性的测量技术与精度、数据统计分析等方法以及反向磁化现象进行了讨论，最后介绍了古地磁学近年来应用于地磁学和地质学问题的一些典型实例。

本书内容较丰富，文字简洁，是地质学、地球物理学和物理学工作者的一本较好的古地磁学入门指导书。

D. H. Tarling

PRINCIPLES AND APPLICATIONS OF PALAEOMAGNETISM

Chapman and Hall, London, 1971

古地磁学的原理和应用

[英] D. H. 塔林 著

《古地磁学的原理和应用》翻译组 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978 年 4 月第 一 版 开本：787 × 1092 1/32

1978 年 4 月第一次印刷 印张：5

印数：0001—7,600 字数：109,000

统一书号：13031·708

本社书号：1018·13—15

定价：0.78 元

中译本前言

首先,让我们以十分喜悦的心情,欢迎《古地磁学的原理和应用》中译本的出版!

自本世纪五十年代以来,古地磁学的发展推动了地学理论的革命,它不仅使人们认识到地球磁极的倒转和变化,应用于地质和考古的年代鉴定以及地层对比和古纬度研究,而且对于海底扩张、大陆漂移和板块构造学说以及地球物理学都有所促进。通过二十余年的实践,古地磁学也开始在诸如寻找沉积矿产资源、地质填图等生产实践活动方面发挥了作用。目前,正是因为古地磁学无论在地球科学的理论研究以及推动生产实践诸方面具有相当重要的意义,所以,古地磁学已被更多的地球科学研究工作者所重视。本书作者——D. H. 塔林也曾成功地将古地磁学用于研究大地构造物理学的问题,尤其是在“大陆漂移”理论方面取得了不少的成果。

然而,到目前为止,国内外总结古地磁学成就的佳著不多,而且现在仅有的几本书,也各有长短,各有所偏重。《古地磁学的原理和应用》可以说是古地磁学的一本入门指导书,它对于具有一些地质学、地球物理学与物理学知识的专业人员了解这门年轻的新兴学科是极为有益的。本书的突出特点是内容比较丰富,文字简明易懂,作者以简练的笔墨较全面而扼要地描述了古地磁学的基本原理及其应用于地质学和地球物理学的某些重大问题的解释,特别是作者几乎详尽地阐明了古地磁学有关岩石磁性方面的物理和化学作用。但是,本书也存在着一些不足之处,如书中对于古地磁学的具体实验技

术与方法介绍得比较粗略，尤其对于该学科的现状及其发展趋势和存在的问题注意得很不够。此外，或许是由于印刷校对上的疏忽，以致书中在某些公式上出现了差错，这些都已由译者们在中译本里作了纠正。尽管如此，本书作为了解古地磁学这门新的地球科学的基本内容和基础知识来讲，仍然是一本有益的入门指导书籍。读者们一定会和译者们一样，遵照伟大领袖和导师毛主席关于“**洋为中用**”的教导，以正确的态度来阅读这本书。

我国的古地磁学的研究工作，自 1958 年大跃进以来就已经开始了。中国科学院地质研究所的古地磁学研究组和实验室从那个时期起就逐步建立起来，曾对古地磁的剩磁稳定性检验方法、某几个地质时代的地层对比以及在考古方面的应用等做过一些初步探讨，但由于刘少奇、林彪和“四人帮”反革命修正主义路线的影响和干扰而没有得到应有的发展。在毛主席的革命路线指引下，近十余年来，特别是无产阶级文化大革命以来，我国古地磁学的研究工作无论就其广度和深度来讲都取得了十分可喜的成绩。今天，这门年轻的新兴学科正象艳丽的鲜花一样在祖国大地上烂漫地开放着，我们深信，在“**独立自主、自力更生**”的方针指导下，《古地磁学的原理和应用》中译本的出版，对进一步发展我国古地磁学的研究工作必将起到一定的积极推动作用。

张文佑

译 者 的 话

古地磁学是一门年轻的,介于地质学、地球物理学和物理学之间的边缘学科,它主要是通过测定岩石或古代文物的剩余磁化强度来研究地质时期和人类文明史期的地球磁场方向、强度及其演化的规律。由于它能定量地获得以往时期的地磁极坐标位置与标本形成时期取样产地的古纬度,测定出一些有关岩石的磁学特征参量,所以,古地磁学的研究成果不只是直接有助于地磁学研究地磁场的长期缓慢变化,进一步探讨地球磁场的起源问题,还可以对诸如地层学、构造地质学、古地理学、古气候学、矿床学、第四纪地质学,以及月岩、陨石的磁性,地球古半径的变化等有关问题的解决发挥一定的积极作用,它在今天已发展成为地球科学中的一门十分重要的分支学科。

十多年来,特别是无产阶级文化大革命以来,我国在古地磁学的研究方面取得了一定的成绩,无疑地,今后也必将会得到更大的发展。

遵照伟大领袖和导师毛主席的教导:“对于外国文化,排外主义的方针是错误的,应当尽量吸收进步的外国文化,以为发展中国新文化的借镜;盲目搬用的方针也是错误的,应当以中国人民的实际需要为基础,批判地吸收外国文化,”在“古为今用,洋为中用”的方针指导下,特译此书,以求更快地推动我国古地磁学工作的更大发展。

这里,首先需要说明的是本书作者在原第一章绪论中,烦琐地罗列了众所熟知的一些前人工作,以此来概括古地磁

学和地磁学的早期历史，我们考虑到这种记述有一定的片面性和缺陷，因此，在译文中删掉了这一章。此外，也许是出版印刷上的疏忽，书中一些章节，尤其是第五章，在公式中有多处出现差错，我们尽自己的努力都一一作了改正。

本书由中国科学院地质研究所古地磁学及岩石磁性实验室刘椿、程国良、朱湘元、林金录和中国科学院地球物理研究所地磁学研究室任国泰、安振昌、王月华、李东节等同志翻译，由中国科学院地球物理研究所陈志强、中国科学院地质研究所劳秋元同志审校。由于我们的水平所限，难免有疏漏之处，欢迎读者批评指正。

译 者

目 录

中译本前言	i
译者的话	iii
第一章 物理学基础	1
1.1 引言	1
1.2 原子磁性	1
1.3 磁畴与宏观磁化	5
1.4 时间、温度和体积变化的影响	9
1.5 压力效应和磁性各向异性	13
第二章 普通的磁性矿物及其鉴别	16
2.1 引言	16
2.2 火成岩与变质岩的铁钛氧化物	16
2.3 沉积岩中的磁性矿物	22
2.4 不常见的磁性矿物	23
2.5 磁性矿物的鉴定	24
第三章 岩石磁化强度及其物理分析	27
3.1 引言	27
3.2 原生磁化强度	28
3.3 变质岩	31
3.4 次生磁化强度	32
3.5 剩余磁性的稳定性	35
3.6 剩余磁性的年代	42
3.7 磁各向异性和非均匀性	46
3.8 小结和评论	48
第四章 采样和测量	49

4.1	引言	49
4.2	采样	49
4.3	标本的定向	51
4.4	剩余磁化强度、磁化率、各向异性和非均匀性的测量	54
4.5	退磁	60
4.6	无磁场空间	62
4.7	古地磁技术的准确性	63
第五章	统计分析	65
5.1	引言	65
5.2	磁化强度的平均方向和磁极位置	65
5.3	古地磁方向的精度和离散度的估计	68
5.4	方向组的分析	76
5.5	统计分析的水平	77
5.6	稳定性的测量	79
5.7	磁化率和磁化强度	80
5.8	讨论	83
第六章	地磁方面的应用	85
6.1	引言	85
6.2	现代地磁场	86
6.3	长期变化	90
6.4	古代磁场的强度	96
6.5	古代地磁场的平均性质	99
6.6	古地磁和地球内部	103
第七章	磁化强度的反向	105
7.1	引言	105
7.2	自发反向机制	105
7.3	岩性和极性之间的相关性	108
7.4	极性和岩石年龄之间的相互关系	110
7.5	极性过渡带	112
7.6	地磁场倒转和极性年表	113

7.7 反同和进化速度·····	118
第八章 地质学上的应用 ·····	120
8.1 引言·····	120
8.2 测定岩石年龄·····	120
8.3 在构造地质学方面的应用·····	126
8.4 古地磁和古纬度·····	138
8.5 岩石的地质史·····	141
单位 ·····	143
参考文献 ·····	144

第一章 物理学基础

1.1 引言

本章叙述了由原子到宏观固体(如岩石)的磁性概念。作者对岩石在自然界或实验室里的磁化方式进行了讨论,特别强调了磁化过程的时间效应。最后,讨论了各种磁性物质获得完全平行于周围原生磁场磁化的性能。

1.2 原子磁性

电磁理论都是以对于带电粒子运动时产生磁场的基本观测为基础的。一个电子,即一个带负电荷的粒子,当绕其自转轴旋转时,产生类似于条形磁铁造成的磁场,也就是具有南、北两极的偶极子磁场。因此,一个原子产生磁化是由于电子的自旋以及电子绕原子核的轨道运动所致(图 1.1),但是在

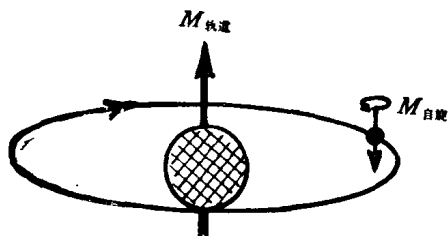


图 1.1 原子的磁性

电子自旋及其绕核作轨道运动产生的磁化。

固体物质中,由于相邻轨道磁场的相互作用,这种轨道的磁化就消失了。在一个原子中,沿轨道运动的电子组成了不同能级的壳层,在各壳层内电子成对出现而自旋方向相反,因而抵消了它们的自旋磁化强度。然而,在不同的壳层内还可能存在着非成对的电子,于是在一个原子中可能存在着若干非成对的电子,具有未被抵消的自旋磁化强度。

每个非成对电子的自旋所产生的磁矩称为玻尔磁子,其表示为

$$\mu_B = M_{\text{自旋}} = \frac{eh}{4\pi mc} = 9.274 \times 10^{-21} \text{ G}$$

式中 e 为电子的电荷; m 为电子的静止质量; h 为普朗克常数; c 为光速。

由于所有物质都包含着电子,所以它们都会受到外磁场的感应,感应磁化强度(M)和外磁场强度(H)的关系可用绝对磁化率($\kappa = M/H$)来表示。磁化率的测定可以用来区别物质中含有或者不含有成对电子。当外磁场作用于一种不含非成对电子的物质时,电子轨道偏转而产生与外磁场相反(逆平行)的磁矩。然而,一旦去掉外磁场,感应磁矩就立即消失,这种与温度无关的性质称为抗磁性,抗磁性物质的磁化率可用下式表示

$$\kappa_{\text{抗磁}} = -N \frac{e^2}{6mc^2} \sum \bar{r}_i^2$$

式中 N 是每立方厘米中的原子数; $\bar{r}_i^2$ 为第 i 个电子与原子核之间距离的均方值。当磁场作用到一种含有非成对电子组成的物质时,电子自旋的磁化方向便平行于磁场,这种平行的特性称为顺磁性。然而,这种平行现象受到单个原子热波动的抵制,以致当磁场撤掉时,这些原子便处于混乱状态。与温度有关的顺磁性物质的磁化率可用下式表示

$$\chi_{\text{顺磁}} = \frac{N\mu^2}{3kT}$$

式中 N 是每立方厘米中含有非成对电子的原子数； μ 为每个顺磁性物质原子的玻尔磁子的平均数； k 为玻耳兹曼常数； T 为绝对温度。抗磁性物质和顺磁性物质两者的磁性都属于弱磁性，它们的磁化率约为 10^{-6} 高斯·奥斯特 $^{-1}$ 。但是，有些物质（例如 Fe、Co、Ni）含有非成对电子，这些电子在相邻的原子之间形成磁耦合。这种相互作用导致强的自发磁化，也就是在没有外磁场时出现自发磁化并且在外磁场撤掉后仍保持外磁场引起的平行状态的显著特点，它们比抗磁性或顺磁性原子的特性要大几个数量级，同一物质中前者完全支配后者。这种特性称为铁磁性，也就是通常所谓的“磁性”。

在铁磁性物质中，非成对电子之间有两种类型的量子力学耦合。在两相邻原子之间有电子自旋相联就出现直接交换耦合，若原子之间的距离大于电子轨道的直径，交换耦合则为负；若原子之间的距离较近，交换耦合则为正。当两个顺磁性原子之间的相互作用通过中间原子（如氧）来实现时就会发生超交换耦合，于是两个顺磁性原子之间的负交换耦合便通过原子之间的电子传递，两种交换作用类型都出现在一个晶格架中。因此，晶格的铁磁性是各种耦合作用的总和，并取决于顺磁性原子的大小、分布及其相互关系。由于产生自发平行现象的量子力受到电子热波动的抵制，上述两类交换作用就与温度有关，所以加热到居里点（ T_c ）时，铁磁性就消失了。居里点是某种晶格的几何形状和成份的特征标志，加热超过了居里点，虽然铁磁性物质仍保持其顺磁原子，但是这些原子已不再发生耦合作用，所以这时的铁磁性物质只表现为单纯的顺磁性物质特征。

铁磁性这个术语，广义地说，可划分为三种类型（图 1.2）。

最简单的一类表现在铁、镍、钴及它们的合金中，交换作用使其中与非成对电子旋转相关的所有内部磁偶极子的平行耦合造成很强的磁化，其方向随着外磁场的方向改变而变化。严格说来，这种特性属铁磁性，通常这类金属的氧化物及其他化合物具有比较复杂的特性，它们的内部磁偶极子是超交换耦合的，所以彼此逆平行。这些物质的晶格可以分成两个亚晶格，它们的成分和形态可能完全相同，也可能完全不同。每个亚晶格都包含有平行的磁偶极子，但是两个亚晶格彼此逆平行。当一个亚晶格包含的偶极子超过另一个时，这种物质由于磁性不平衡而呈现铁磁性特征，但是与铁磁性物质的净磁化强度相比，则要弱得多，这类磁性特征称为亚铁磁性*。当两个亚晶格的结晶形态完全相同时，每个逆平行的亚晶格中磁偶极子的数目相等，并且相互抵消，这种物质的磁性特征称为反铁磁性。其实，理论上的反铁磁性物质往往具有很小的剩余自发磁化强度，这是由于晶格很少有完整的，如晶格中有错

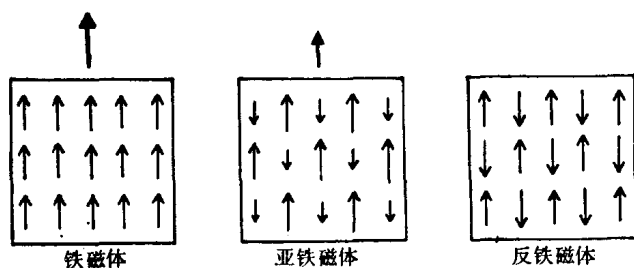


图 1.2 铁磁体、亚铁磁体和反铁磁体

在小体积的铁磁性物质中，所有的磁偶极子是平行排列的，具有相当大的磁化强度。在亚铁磁性物质中的磁偶极子是逆平行的，其中的一个晶格支配着另一个晶格，所以具有弱磁化强度。在反铁磁性物质中，两个逆平行的晶格相等，并且该物质中没有外磁场。

* 亚铁磁性又称铁淦氧磁性。——译者注

位、空穴等,甚至在合成材料中两个亚晶格也不是完全逆平行的,这种磁化通常称为寄生铁磁性。

大多数天然磁性矿物,就其性质而言,不是亚铁磁性的就是不完全反铁磁性的,虽然地球之外的岩石、陨石和月球岩石样品含有大量铁镍合金,通常都具有严格的铁磁性。在以后的讨论中,将使用广义的铁磁性术语,除非另作专门的说明。具体矿物的磁性特征将在第二章中讨论。

1.3 磁畴与宏观磁化

晶体内的量子力和磁结晶力规定了晶体的原子模式,并且明显地决定着顺磁原子的位置和指向,在有序结构里,存在着某些能量最小的“易磁化”方向,磁偶极子也易于沿着这些方向排列,使晶体表面形成分离的南北两极(“自由”磁极),尽管两极的分离作用受到两极静磁相互引力的抵制,磁结晶力与静磁力之间的矛盾由于小体积磁畴的发展而解决,在磁畴内,各个偶极子自发排列,其间以所谓“布洛赫壁”的狭窄条带彼此分隔。在布洛赫壁内,各个偶极子从一个磁畴的方向逐渐翻转到相邻磁畴的方向(图 1.3a)(在磁铁矿中磁畴的直径约为 10^{-5} 厘米,壁厚约为 10^{-6} 厘米;在赤铁矿中磁畴的直径可大到 10^{-3} 厘米,这两种矿物中的磁畴大小都受到颗粒大小、形状及晶格中的不完整性所控制)。在没有任何外界影响时,这些磁畴调整其南北两极,使彼此尽量靠近而降低静磁能量。当闭合模式(图 1.4)形成时最容易达到这种状态,于是物质就没有净外磁场,显然这种无磁性状态根本不同于物质在居里点以上自发磁化消失时的无磁性状态。当一个微弱的磁场作用于闭合磁畴体系时,那些与外磁场平行的磁畴由于布洛赫壁的“推移”损耗了未成列的磁畴而增大;但是外磁场去掉后,

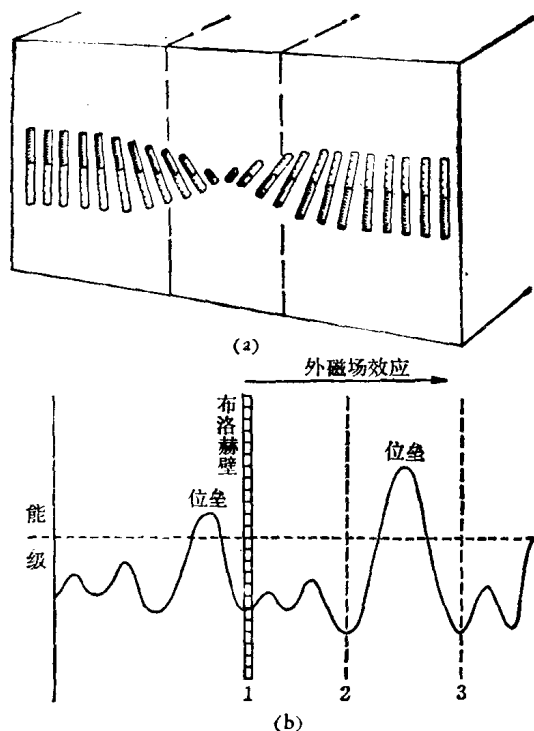


图 1.3 布洛赫壁

(a) 单个磁偶极子从一个磁畴的自发磁化方向逐渐翻转到相邻磁畴的方向。

(b) 有外磁场时，布洛赫壁从 1 推移到 2 越过晶格架内小能量的位垒，去掉外磁场后布洛赫壁能回到位置 1。外加强磁场时，布洛赫壁被推移到远至位置 3，越太大的能量位垒不可能返回原位置。然而，在漫长的时期内，静磁力不断地要把布洛赫壁推回到最小能量的原始位置，热扰动也逐步地使得单个原子越过位垒。

静磁力又把布洛赫壁推回到原来的位置(图 1.3b)。较大的外磁场能够推动磁畴壁越过晶格中由于晶格不完整或不纯净等造成的各种能量位垒，因此在外磁场去掉后，静磁力就不能把磁畴壁推回到原来的位置。于是，该物质保留了与磁畴扩大相关的等温剩余磁性 (IRM) (图 1.4b)。如果有更强大的外磁

场,那么在一些磁场内($H_{\text{饱和}}$),所有移动的磁畴壁都可能越过所有的位垒而达到磁饱和状态($M = M_{\text{饱和}}$)。当更大的外磁场作用时,磁畴内的单个电子自旋偶极子都被推向与外磁场平行,转动这些偶极子所需的能量比推动磁畴壁所需的能量要大得多,去掉了强外磁场,则标本便恢复其饱和数值。感应

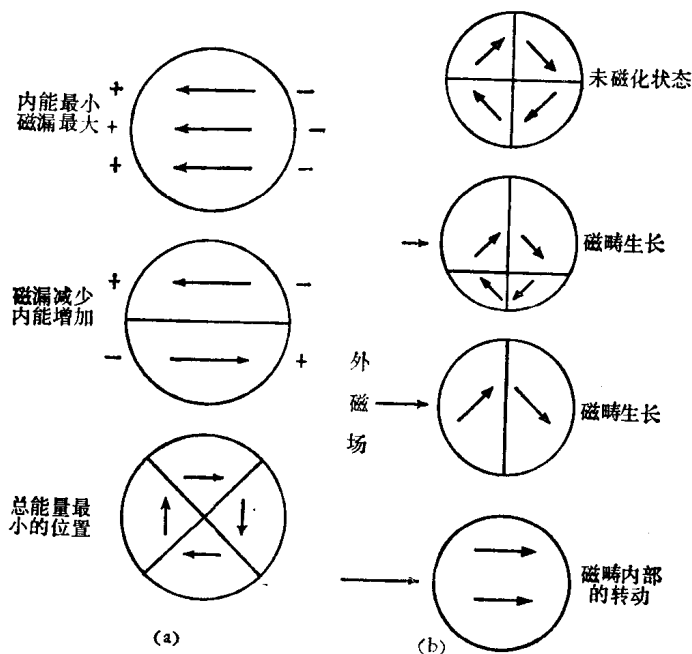


图 1.4 磁畴模式

- (a) 颗粒中磁偶极子的定向排列产生一个外磁场,使颗粒处于去磁状态。为了减小这一外磁场使尽可能多的偶极子定向排列,颗粒便分成许多磁畴,磁畴在去磁状态下形成闭合回路而没有外磁场。
- (b) 当磁场作用于“非磁性”颗粒时,磁畴内部的磁化强度或自发磁化强度的一个分量和外磁场平行,磁畴则由于磁畴壁的推移而扩大。在强的外磁场作用下,某些自发磁化的方向会“跃转”到接近于外磁场的方向,但是只有当外磁场很强时,磁畴内的单个方向才会强使与外磁场一致。