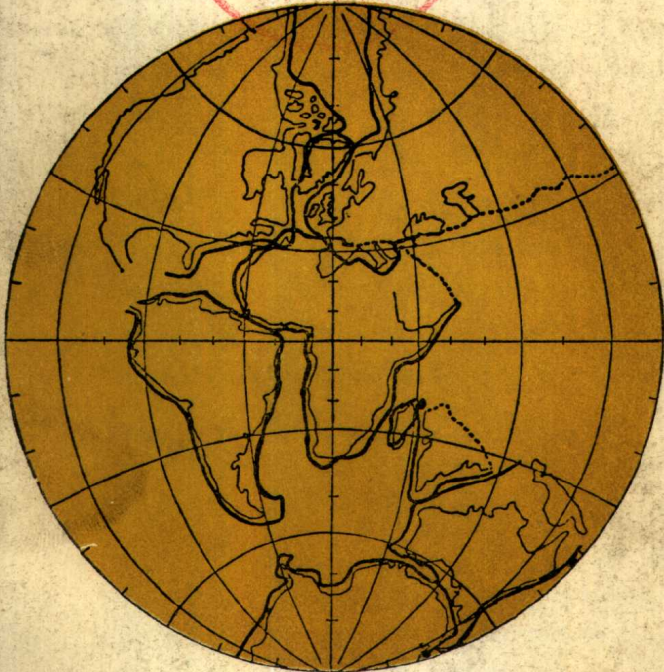


56.273
03452

古地磁学概论



地质出版社

古地磁学概论

徐世浙

地震出版社

1982

内 容 提 要

本书介绍了古地磁学的原理及其应用。全书共九章，前三章简单介绍地磁场的基本知识，系统论述古地磁学的原理及工作方法，其余各章用实例介绍古地磁学在各个领域中的应用。

本书内容全面，图表丰富，可供地质、地球物理等专业工作人员以及广大读者作为学习古地磁学的入门读物。

古 地 磁 学 概 论

徐 世 浙

地 质 学 社 出 版

北京复兴路63号

北京印刷三厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

850×1188 1/32 6印张 153千字

1982年5月 第一版 1982年5月第一次印刷

印数0001—3200

统一书号：13180·158 定价：0.80元

目 录

第一章 地磁场概述	(1)
§1.1 发展简史	(1)
§1.2 地磁要素和世界地磁图	(2)
§1.3 偶极子磁场和非偶极子磁场	(5)
§1.4 地磁场的长期变化	(9)
§1.5 地磁成因	(11)
第二章 岩石磁学	(14)
§2.1 物质磁性的一般描述	(14)
§2.2 物质磁性的微观描述	(17)
§2.3 矿物和岩石的磁性	(22)
§2.4 磁性物质中的几种自由能	(24)
§2.5 单磁畴的理论	(29)
§2.6 磁性弛豫	(34)
§2.7 热剩余磁性 TRM	(37)
§2.8 化学剩余磁性 CRM	(44)
§2.9 沉积剩余磁性 DRM	(47)
§2.10 次生剩余磁性	(49)
第三章 古地磁的工作方法和资料整理	(51)
§3.1 标本的采集	(51)
§3.2 剩余磁性的测量	(53)
§3.3 磁化方向的统计整理	(56)
§3.4 剩磁稳定性检验	(66)
第四章 轴向地心偶极场和古纬度	(84)
§4.1 轴向地心偶极场假说	(84)
§4.2 古气候标志	(88)

§4.3	古地磁纬度与古气候标志的对比	(90)
§4.4	古气候标志的古纬度分布的应用	(94)
第五章	古地磁场强度	(99)
§5.1	古地磁场强度的研究方法	(99)
§5.2	地磁场和地球磁矩的变化	(101)
第六章	地磁场反转	(105)
§6.1	地磁场反转的证据	(105)
§6.2	极性年表	(109)
§6.3	反转机制	(118)
第七章	大陆漂移和地极迁移的古地磁证据	(125)
§7.1	用古地磁研究大陆漂移的方法	(126)
§7.2	大陆漂移的古地磁证据	(132)
§7.3	地极长期迁移的古地磁证据	(142)
第八章	海底扩张的古地磁证据	(148)
§8.1	海底扩张假说	(148)
§8.2	海洋条带状磁异常的解释	(150)
§8.3	海底等时线	(155)
§8.4	新生代的极性年表	(158)
第九章	古地磁的其它应用	(160)
§9.1	研究地质构造变动	(160)
§9.2	岩层对比	(165)
§9.3	研究前寒武纪	(176)
§9.4	研究岩石形成过程	(179)
§9.5	研究地球半径的变化	(184)
§9.6	研究星球物质的磁性	(186)
参考文献		(187)

第一章 地 磁 场 概 述

§1.1 发 展 简 史

能自由转动的罗盘磁针，总是静止在近南北的方向，这表明地球周围空间存在着磁场——地磁场。

我国劳动人民在世界上最早发现并应用地磁现象，指南针是我国古代四大发明之一。早在战国时代，就应用天然磁石磨成指南针。宋代学者沈括（公元1031—1095年）在《梦溪笔谈》中记有“以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也”，这是世界上关于地磁偏角最早的记载。同一时期的《武经纪要》中记载了用铁片在地磁场中淬火获得强磁性以作指南针的方法，这是热剩余磁性原理在世界上最早的应用。

直到十二世纪，罗盘才从中国传至欧洲。1492年哥伦布由欧洲航行到新大陆的途中，发现有磁偏角，并且发现磁偏角随地而异。1544年哈尔曼(G. Hartmann)发现磁倾角。1600年英国医生吉尔伯特(W. Gilbert)发表《磁体》(De Magnete)一书，这是第一本地磁科学的著作。他根据地球表面与球形磁石表面的磁倾角变化的相似性，作出结论：“地球本身是一块巨大的磁体，它的两极与地理两极相符合”。吉尔伯特第一个提出地磁成因的理论概念，确定了地磁场起源于地球内部。他的著作对后来地磁科学的发展有重大影响。从那时起，许多人对地磁场进行广泛的长期的考察研究。1840年高斯(Gauss)发表了《地磁概论》一书，他在书中对地磁场作了周密的数学分析，给地磁场的理论分析奠定了基础。十九世纪开始应用地磁场在局部地区的异常现象来寻找磁铁矿。

早在十八世纪末，发现一些岩石具有很强的剩余磁性，能吸引磁针。十九世纪中叶发现某些近代的喷发岩的剩余磁性方向与地磁场平行，这是古地磁学的萌芽。1906年布容 (Brunhes) 等首先发现了剩余磁性方向与现代地磁场方向相反的岩石，并提出地磁场曾经倒转的推测。1926年梅坎顿 (Mercanton) 提出用古地磁学方法检验地极迁移和大陆漂移，但直到五十年代中期，英国地球物理学家兰康 (Runcorn) 等才把古地磁学应用于大陆漂移假说中，取得了重大突破，对大陆漂移假说的复活起了决定性作用。此后，世界范围的古地磁工作蓬勃开展。1959年前发表的古地磁成果200篇，1963年增至550篇，1970年增至1500篇。六十年代初，海底扩张假说的提出，给大陆漂移假说以有力支持，古地磁学的进展，又为海底扩张假说提供了令人信服的证据。目前古地磁学广泛应用于地质和地球物理的各个领域，如地球发展历史、地球磁场起源、地层对比、构造运动、地球古半径变化、月岩和陨石磁性的研究等，并取得了一定的成果。

我国的古地磁研究工作始于1958年。中国科学院地质研究所、地球物理研究所逐步建立了古地磁研究组和古地磁实验室，在中、新生代地层的对比、考古地磁学、第四纪地质研究、震旦纪研究等方面进行了古地磁工作，取得了一定成绩。近几年来，有更多的单位开展了古地磁工作。但是，总的说来，我国开展的古地磁工作还不多，如各构造单元之间的相对运动、古生代地层的时代对比、矿产普查、陨石等方面的古地磁研究，还没有很好开展起来。

本书收集国内外古地磁学应用实例，并对古地磁的原理作了介绍，希望它能对推动今后我国古地磁学的发展起一定作用。

§1.2 地磁要素和世界地磁图

一枚重心在支点、自由旋转的磁针，在地面任何一点有确定

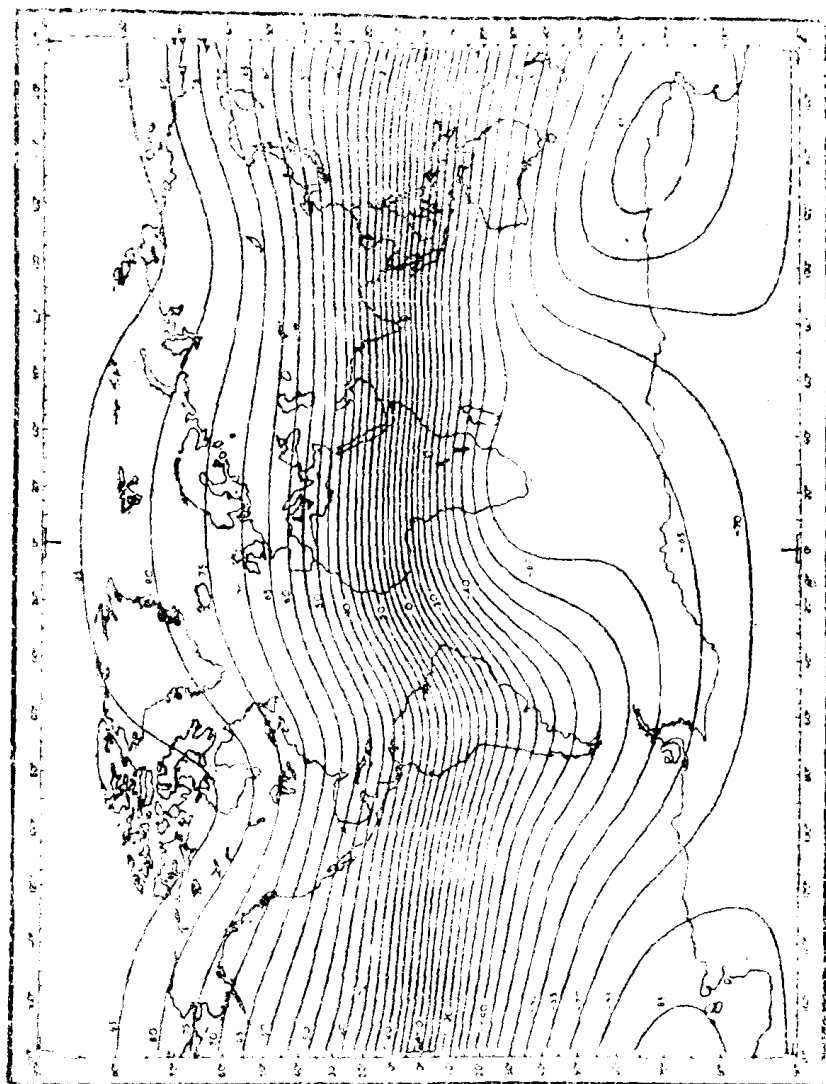


图 1.2 1965 年国际地磁参考场的等倾角 (I) 图 (单位: 度)

等力线图、垂直等力线图和等倾角图等等。

由于地磁要素是随时间变化的，因而必须把观测数据都化到某一特定日期，此项工作称为通化工作。世界地磁图通常每五年编一次，日期选在七月一日，如1965年地磁图，即通化到1965年7月1日零点。

图1.2是1965年代的国际地磁参考场的等倾角图，它反映全球磁倾角分布的概貌。该图上的等倾线是沿纬度圈分布的一系列大致平行的曲线。在赤道附近，磁倾角等于零，那里的水平分量最大，平均为0.35奥斯特，垂直分量等于零。零值等倾线称为磁赤道。磁赤道以北，磁针下倾，倾角为正，倾角 $I = +90^\circ$ 的地方称为磁北极；磁赤道以南，磁针上仰，倾角为负，倾角 $I = -90^\circ$ 的地方称为磁南极。磁南北极各在 67°S ， 143°E 和 75°N ， 101°W 处，与地理南北极相距约2600和1600公里，那里的水平强度等于零，垂直强度最大，约0.6—0.7奥。

国际地磁参考场图上的等要素线，几乎不反映地壳的地质地理情况，它跨过大陆，穿过海洋，没有被扰乱，和大断裂带、海岭形态或地震带没有明显的关联。这说明地球磁场的来源在地内很深处。

§1.3 偶极子磁场和非偶极子磁场

由地球表面磁针的指向推测球外的磁力线如图1.3所示，这样的磁场有专门名称，叫地心偶极场，就象地球中心，放着一个大偶极子（大磁铁）一样。与地球表面磁场拟合最佳的偶极子的方向（磁轴）与地球旋转轴相交 11.5° 。磁轴与地面交点在 78.5°S ， 70°E 和 78.5°N ， 110°W 处，这两点称为地磁南北极。这是理论的磁极位置，前面提到的磁南北极是实际的磁极位置，两者是不同的。地球上与地磁南北极等远的点称为地磁赤道，与前面提到的磁赤道也是不同的。

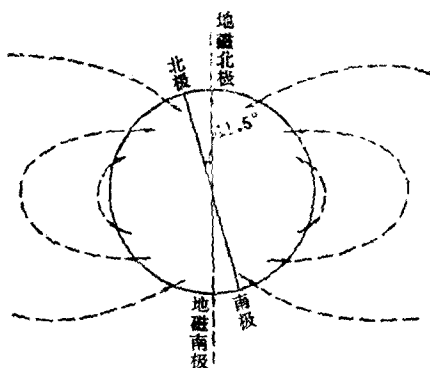


图 1.3 偶极子磁场

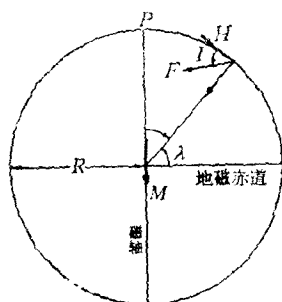


图 1.4 地磁纬度 λ 、地磁余纬度 p 的定义

与地理纬度的定义类似，图 1.4 上的 λ 角叫地磁纬度， p 角叫地磁余纬度。根据磁学中熟知的公式，地面任一点的偶极子场的水平分量 H 和垂直分量 Z 为

$$H = \frac{M}{R^3} \cos \lambda = \frac{M}{R^3} \sin p, \quad (1.2)$$

$$Z = \frac{2M}{R^3} \sin \lambda = \frac{2M}{R^3} \cos p. \quad (1.3)$$

式中 M 为偶极子磁矩，即地球的总磁矩， R 为地球半径。

在地磁赤道处 $\lambda = 0^\circ$ ：

$$H = \frac{M}{R^3}, \quad Z = 0;$$

在地磁极处， $\lambda = 90^\circ$ ：

$$H = 0, \quad Z = \frac{2M}{R^3}.$$

可见赤道处的地磁场强度只有两极处的一半。

由式 (1.1) — (1.3)，得总磁场强度 F 、磁倾角 I 、地磁纬度 λ 、地磁余纬 p ：

$$F = (H^2 + Z^2)^{1/2} = \frac{M}{R^3} (1 + 3 \sin^2 \lambda)^{1/2}$$

$$= \frac{M}{R^3} (1 + 3 \cos^2 p)^{1/2}, \quad (1.4)$$

$$\operatorname{tg} I = \frac{Z}{H} = 2 \operatorname{tg} \lambda = 2 \operatorname{ctg} p. \quad (1.5)$$

在地面任意点测定 H 和 Z ，由式 (1.5) 可计算磁余纬，再

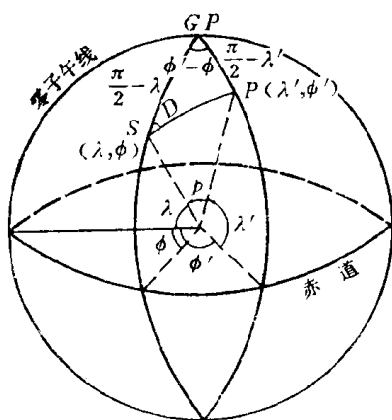


图 1.5 计算虚磁极的经纬度

根据该点的磁偏角 D ，可定出地磁极的位置，办法是：在磁偏角所指的方向上（即磁偏角方向和地心所限定的大圆面上），找出一點，使这点与观测点的角距离为 P ，这点就是地磁北极（图1.5）。在地球的另一面，与这点对蹠的是地磁南极。这样确定的磁极称为虚地磁极 VGP

(Virtual Geomagnetic

Pole)。虚地磁极的地理经纬度也可用公式计算。

观测点 S 的地理纬度和经度为 (λ, ϕ) ，磁偏角 D ，磁倾角 I 。地理北极 GP 、虚磁极 P 和 S 三点组成球面三角形（图1.5）。根据余弦定理和正弦定理，虚磁极 P 的地理纬度和经度 (λ', ϕ') 由下列方程组决定：

$$\left. \begin{aligned} P &= \operatorname{ctg}^{-1}(\frac{1}{2} \operatorname{tg} I), \\ \sin \lambda' &= \sin \lambda \cos p + \cos \lambda \sin p \cos D, \\ \sin(\phi' - \phi) &= \sin p \sin D / \cos \lambda'. \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

应注意，这里存在两种情况，即 $\phi' - \phi = \beta$ 和 $\phi' - \phi = 180^\circ - \beta$ ，其中 $-90^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ 。当 $\cos p \geq \sin \lambda \sin \lambda'$ 时选择 $\phi' - \phi = \beta$ ；

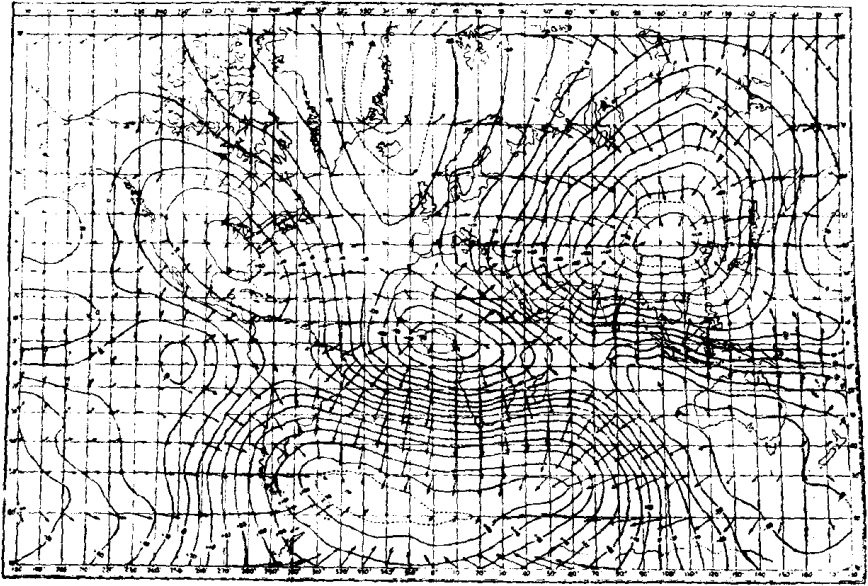


图 1.6 1945年非偶极场。等值线代表 Z ，等值线单位：100伽马。箭头代表水平分量的方向和大小

$\cos \psi < \sin \lambda \sin \lambda'$ 时选择 $\phi' - \phi = 180^\circ - \beta$ 。

例如北京 ($\lambda = 40^\circ \text{N}$, $\phi = 116^\circ \text{E}$) 的 $D = 354^\circ 9'$, $I = 57^\circ 10'$, 由式 (1.6) 计算的虚磁极位置 $\lambda' = 83^\circ$, $\phi' = 74^\circ$ 。

根据某点的地磁要素值及已知的地球半径和磁纬度，由式 (1.2) — (1.4) 可求出地球的总磁矩。根据世界各地的地磁平均资料，求得1965年的地球总磁矩为：

$$M = 8.00 \times 10^{25} \text{ 高斯} \cdot \text{厘米}^3.$$

精确的地磁测量表明，各地磁要素在地面上的分布，在相当广泛的地域内并不符合地心偶极子场的分布规律。两者存在着显著的差异。从地面各测点的地磁数据中减去最佳拟合的地心偶极子的磁场（理论计算出来的），并把这差值按照测点的地理位置标在地图上，画出等值线图，称为非偶极场（图1.6）。全球有

若干个洲际规模的非偶极场中心，其极性有正有负。非偶极场中心的垂直强度最高可达0.18奥，相当于地磁场平均强度的30—35%。

§1.1 地磁场的长期变化

地磁场的强度和方向不仅因地而异，而且随时间变化。时间变化分两大类：短期变化和长期变化。短期变化起源于地球外部，变化周期以日量度，不引起地磁场持久的改变，对古地磁研究没有意义。长期变化起源于地球内部，变化周期以年量度，经过一个长时间，总的效应就很可观，与古地磁研究有关。

图1.7是伦敦和巴黎的磁偏角、磁倾角的变化。1580年到1820年的240年间，伦敦的偏角变化约 35° 。

为了描述长期变化在全球分布的情况，将某地磁要素的相同年变率的点联接起来，作成等变线图。图1.8是1922年的垂直分量等变线图。等变线有若干中心，那里的地磁场变化特别迅速，达150伽马/年（1伽马= 10^{-5} 奥斯特）。等变线的中心不是固定不变的，而是系统地逐渐向西移动。例如图上的等变线中心到1945年移到箭头所在的位置。这种现象称为西向漂移。偶极场和非偶极场都存在着西向漂移，漂移的速率为每年几分之一经度，

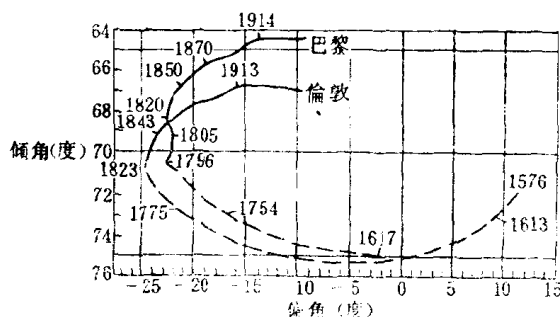


图 1.7 伦敦、巴黎的磁偏角、磁倾角的长期变化

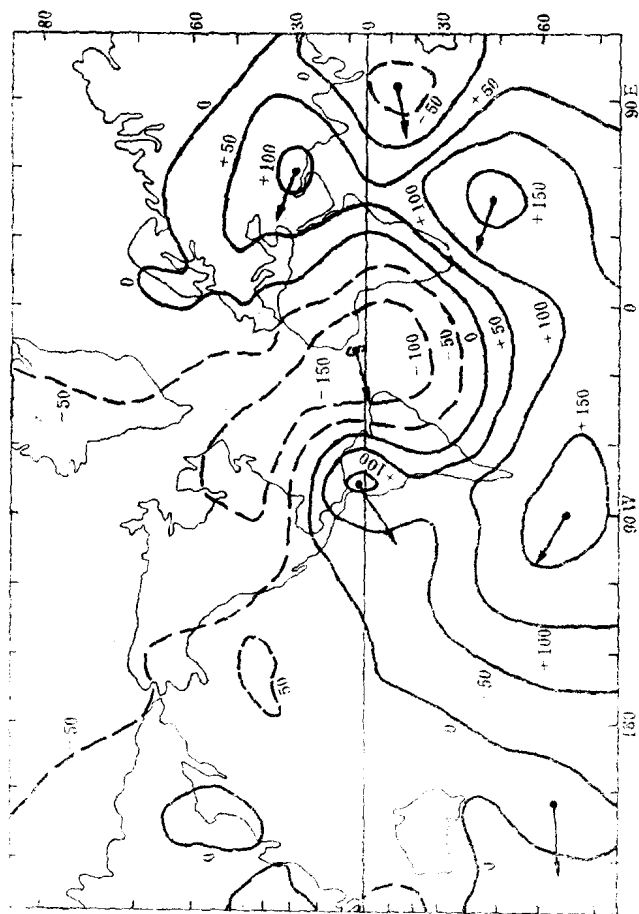


图 1.8 1922年的垂直分量 Z 的长期变化。单位：伽马/年。虚线表示减少。
箭尾代表1922年等变线中心位置，箭头代表1945年等变线中心位置

以这个速度围绕地球一圈大约需二千年时间。通常地球内部发生的变化是非常缓慢的，需要几兆年甚至几千兆年，对比起来，二千年是很短暂的。这一点对解释地球磁性起源来说是很重要的。

长期变化不仅限于磁偏角、磁倾角和强度，地球磁矩本身也逐年有轻微的变化。十九世纪初计算的磁矩为 8.5×10^{25} 高斯·厘米³，以后磁矩不断下降，1965年磁矩为 8.0×10^{25} 高斯·厘米³。130年来减少了约6%。按这个速率线性外推，地球磁场在2000年后将消失。但是这种外推是否成立是有问题的。

地磁场的长期变化使任何一点的地磁方向都在改变。古地磁是研究几千年甚至几兆年时间间隙内的平均地磁方向的，从几千年时间来看，地磁场将围绕平均方向不断摆动，有些地方摆动大，地磁方向的离散度也就大。假定偶极场不变，而非偶极场是强度恒定、方向随机变化的，则在偶极场小的地方（如赤道），由于非偶极场变化引起的地磁方向的离散度大；在偶极场大的地方（两极），离散度小。

§1.5 地 磁 成 因

地磁成因是科学上的一大难题，至今还没有圆满解决。地球磁场起源于地球内部，这是没有问题的，但对地磁成因曾有各种解释。主要有：

永久磁铁说 最早认为地球是一个大磁铁，但很快被否定了。因为地球内部具有很高的温度，而物质在所谓居里点（约600—700°C）以上的温度，失去了铁磁性。地壳的地温梯度约为30°C/公里，因此大约在25公里以下，所有铁磁性物质都失去磁性。如果磁性集中在地壳25公里内，根据已知的地球磁矩 8.0×10^{25} 高斯·厘米³，可求得地壳岩石的磁化强度为5高斯。实际上，地壳岩石的磁性比这个数值小得多。强磁性的玄武岩为 10^{-2} — 10^{-3} 高斯，而沉积岩、花岗岩很少超过 10^{-4} 高斯。此外，永久磁铁说也

不能解释地磁场的许多其它特点，例如磁极与地极很接近，地磁场的长期变化以及地磁场的倒转现象。所以这种假说已被彻底否定。

自激发电机说 这是最有希望的假说。目前推测，地心3500公里半径内的地核由铁、镍组成，它们是良电导体，地磁场很可能是地核中的电流形成的。但是良导的铁镍也有一定电阻，必然会使初始电流衰减下去。根据理论计算，这样的电流在几千年、几万年内消失殆尽。但是古地磁测量表明，地磁场存在于整个地质时期中，其强度与现在没有显著差异，基本是稳定的。因此地核中的电流必须自己补充，也就是说地核能自己发电，是一架自激发电机。

在发电机中，良导体的运动是必不可少的。大家知道，地核分内核和外核，内核是固态的，外核是液态的，粘滞系数很小，能够迅速运动。由于液核内部温度的不均匀性，液核中有对流运动，形成封闭的涡流。只要有小的初始磁场存在，运动着的良导体就会产生感应电流，这电流将产生磁场。如果对流运动的形态适宜，次生磁场会加强原生磁场。只要有支持对流运动的能量，这种电流就会一直增长上去，而达到实际所观测到的数值。在这种情况下，地核好比一架自激发电机。

自激发电机的作用过程可用图1.9的圆盘发电机说明。一个金属圆盘在微弱的轴向磁场中绕金属轴旋转，根据电磁感应定理，圆盘轴与圆盘边缘之间产生了径向电动势，如图1.9中的点线所示。用一根螺旋形导线在圆盘下联接边缘和轴，导线中就有电流流过。这电流产生的磁场沿着S的方向，增强了初始磁场，于是感应电流进一步增大，引起磁场进一步增强。最后，电路中的电阻阻止电流的进一步增大，磁场达到稳定。很明显，自激发电机要求有初始磁场，没有它，圆盘的转动不会产生什么东西。什么是地球的初始磁场？可能是宇宙中到处存在的非常微弱的磁场，或者可能来源于地核中温度差异和物质差异造成的微弱的热