

古地磁学导论

刘椿著

科学出版社

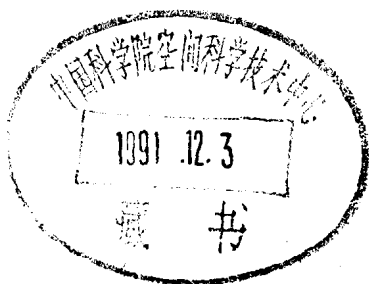
P 318.4

LC

古地磁学导论

刘椿著

TW35/15



科学出版社

1991

107144

内 容 简 介

古地磁学是研究地质历史时期地球磁场规律性变化的一门边缘学科,在地球科学诸领域中的应用日益广泛深入,发展迅速。这本导论综述了古地磁学的地质和地球物理学理论基础、室内和野外工作的基本方法及其在地学和其它相邻领域中的实际应用,为读者提供一本简明适用的入门参考书,也可选作有关地学专业古地磁学课程的教材。

古 地 磁 学 导 论

刘 椿 著

责任编辑 苏宗伟 吴寅泰

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100707

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

1991年6月第一版 开本:787×1092 1/16

1991年6月第一次印刷 印张:8

印数:0001—1100 字数:175 000

ISBN 7-03-002224-6/P·446

定价:8.00元

序

古地磁学是介于地球物理学和地质学之间的一门边缘学科。地球物理学中的地磁学和地质学中的构造地质学各自深入到地球历史方面的研究，逐步形成了古地磁学。现在综合的地质研究中，都会包含或涉及古地磁的内容。这是从60年代以来，地质学与地球物理学相结合取得进展的一个很好的范例，是一个鼓舞人心的科学成就。

近代古地磁学的发展大致始于本世纪初。Brunhes 和 Mercanton 关于不同时代地磁反向现象的发现和证实，具有重要的意义。因为古地磁在地质学中的主要应用——利用古地磁测定地区的古纬度和利用地磁反向确定地层时代的对比——都由此崭露端倪，奠定基础。但古地磁学真正成为一门科学则是在50年代，主要归功于英国的 Blackett, Runcorn 和美国的 Dietz 等人。60年代初，Blackett (1961) 首先利用古纬度变化解释地质时期的古气候，Dietz (1961) 第一个用古地磁解释海底扩张和洋陆变迁。Doell, Cox 和 Hilten 先后发表了重要的古地磁数据。最早用古地磁系统解释大陆漂移的是 Runcorn (1956b)，第一个作出较系统的地磁反向年代表的则是 Cox (1969)。应该承认，古地磁研究对于建立板块理论，导致地质思想的大变革，起了巨大的作用。

20年来，随着古地磁测试技术的提高和数据的积累，在全球古大陆再造和古地磁地层学方面都取得了长足的进展。从时代上讲，已经逆推到中、晚元古代；从精度上讲，可以测定许多弱磁性岩石的剩余磁性。古地磁学的利用和发展正是方兴未艾。

我国对古地磁学的研究起步并不为晚。50年代末、60年代初中国科学院地质研究所和地球物理研究所就开始了这方面的工作，原北京地质学院也曾规划进行。北京大学王子昌教授 (1960) 最早发表了古地磁专题论文。不幸由于十年动乱，工作中断。在困难情况下，刘椿同志等坚持不懈，自1965年起不断发表成果，是难能可贵的。自70年代后期起，中国科学院、地质部所属研究机构 and 高等院校相继建立了古地磁实验室，最近又相继设置了研究项目，开展了国际协作，在全国各地，包括青藏和新疆，都取得了一批重要的数据。但目前国内尚无自著的较全面的古地磁著作，也缺乏理想的译本。刘椿同志多年来从事古地磁研究，又曾多次为古地磁学习班讲课，写成这本专著，不独概括了古地磁学的内容方法、研究趋势等各个方面，还包括了他自己和国内研究的最新数据成果，出版之后必将受到广大古地磁工作者和对古地磁感兴趣的地质工作者的欢迎。我相信有志趣于古地磁学的同志们能够相互鼓励，相濡以沫，既重视实验室建设和测试技术方面的改进，又能致力于对地质应用和解释水平的提高，发展横向协作，加强信息交流，避免重复，提高效率，必能使古地磁研究在我国得到健康的发展，取得丰硕的成果。本书的出版也必将会在一些方面推动我国古地磁学工作向前迈进。

王鸿祯

1986年国庆节于北京

前 言

本世纪60年代，是地球科学理论研究取得重大突破的时代，板块构造理论作为现代地质学的一种新的思想很快地被地学界绝大多数人士所接受，解释了地球科学中历年来许多悬而未决的疑难问题。

然而，回顾地球科学发展的历史，人们相信板块构造理论并不是凭空就能产生的。板块构造理论告诉我们，今日地球上的一切自然景物都不是一成不变的，如大陆、海洋以及它们之间的相对位置都是经受了漫长的地质作用、发生过多次变动的产物。这种变动不仅仅表现为升降运动，还表现为地壳的水平运动，并且后者同样是一种相当重要的构造运动。诸如大陆块体间的相对位移及其在不同地质时期的古纬度变化，这些重大问题的研究都是古地磁学研究扩展的领域。运用古地磁学的理论和方法，可以比较准确地测量出大陆漂移的方向和幅度，还能测得海底岩芯磁性地层的极性序列。正是如此，古地磁学的进展不仅为大陆漂移说和海底扩张说提供非常重要的依据，而且已被人们公认为板块构造理论的一个十分有力的支柱。

由于古地磁学刚一显露锋芒就看出了它的威力，因而国际上不少的地学部门和学者们十分重视古地磁学研究，以致成为近十多年来许多国际地球物理学和地质学会议上必然要讨论的热门课题。尤其令人鼓舞的是，随着地磁极性年代表的建立，磁性地层学已为第四纪地质的研究做出了重要的贡献，还在解决生产实践中的一些具体问题方面取得了不少成就。

我国古地磁学研究是从1958年开始的，今天古地磁学研究在我国已经取得了较大的进展，更可喜的是我国的古地磁学研究队伍正在迅速壮大，不少地学部门设置了古地磁学的专业研究机构，广泛研究地学中许多方面的课题。可以预料，我国古地磁学研究将取得丰硕成果，并在不太长的时间里赶上世界先进水平。

本书是为对古地磁学感兴趣的地质工作者而写的。本书的主要材料是几个古地磁学讲习班的讲稿，经作者多次修改和补充而完成。本书的目的在于帮助大家能够较快地对古地磁学有一个比较系统和概括的了解，以便在工作中正确地分析和利用古地磁学数据，合理地解释一些实际的地学问题。

在本书撰写过程中，曾得到许多同志的热情鼓励和支持，特别是尹赞勋、崔克信、陈志强等教授对原稿提出了十分宝贵的意见，陈志强教授又仔细认真地对初稿进行了修改和审查。还使作者非常激动的是本书初稿完成后，王鸿祯教授在百忙中抽出时间为本书写了序，他为发展我国古地磁学的愿望使作者深受鼓舞。此外，李燕平同志为书中有关超导磁力仪部分提供了一些有用的资料和图片，书中有关的插图均由邵兴亚高级工程师和阎学文同志照相和绘制，部分图件是沈晓东同志帮助完成的，李毓瑞、张祥光二位同志帮助修改全文并协助处理了一些出版的技术性问题。所以，本书今天能与大家见面，是与诸位同事的努力分不开的，作者谨向他们致以衷心的感谢。

目 录

序

前言

第一章 古地磁学概述.....	1
第一节 古地磁学研究内容与任务.....	1
一、地球磁场的历史与演变规律	1
二、与地球科学各学科的广泛联系	2
第二节 古地磁学研究历史.....	3
一、早期的地磁探索	3
二、近代的古地磁学研究	4
三、古地磁学的主要成就与发展方向	6
四、中国古地磁学研究进展	10
第二章 古地磁学基础	12
第一节 地磁学基本概念	12
一、地磁要素	12
二、地磁场的基本特征	13
三、地磁场构成	14
四、地球磁场的变化	18
五、地磁场的成因问题	20
第二节 物质的磁性和磁性矿物	22
一、原子磁性	22
二、磁畴与宏观磁化	24
三、几种主要的磁性矿物	26
第三节 岩石的磁化强度	30
一、岩石磁性特征	30
二、岩石天然剩余磁性的几种主要生成方式	31
三、古地磁学研究的必要条件	33
第四节 岩石磁化强度的反向	34
一、场反与自反	34
二、岩性与极性之间的相互关系	38
三、极性和岩石年龄之间的相互关系	39
四、极性过渡带	40
五、地磁场倒转和极性年代表	41
六、极性变化与生物演变	42
第三章 古地磁学研究方法	44
第一节 野外定向采样	44
第二节 古地磁测量和仪器.....	49
一、无定向磁力仪	49

二、旋转磁力仪	52
三、磁通门式旋转磁力仪	53
四、超导磁力仪	55
五、欧拉角在坐标变换中的应用	56
第三节 岩石剩磁稳定性的检验和退磁	57
一、岩石剩磁稳定性的检验	57
二、退磁或磁清洗	61
第四节 古地磁数据处理与资料整理	65
一、岩石剩余磁性的平均方向和古地磁极位置	65
二、古地磁方向的精度和离散度的估计	66
三、赤平极射投影的使用	70
四、Zijderveld矢量图解方法	73
第四章 古地磁学在地球科学中的应用	74
第一节 古地磁学在地层学和地质年代学中的应用	74
第二节 古地磁学在古地理、古气候以及沉积矿产预测方面的应用	83
第三节 古地磁学在大地构造学研究方面的应用	87
第四节 第四纪的古地磁学研究	92
第五节 前寒武纪古地磁学研究	97
第六节 地磁场古强度与考古地磁学	99
一、地质时期地磁场古强度	99
二、古代地磁场的长期变化	101
三、近数千年间的虚地磁极移动曲线	103
第七节 古地磁学在其他地学领域中的应用	105
一、有关陨石与月岩磁性的研究	105
二、地球古半径变化和地球膨胀说	107
三、关于构造磁学与地震活动性的研究	108
附录 古地磁学研究中常用的磁学物理量单位及换算关系	110
参考文献	111

AN INTRODUCTION TO PALEOMAGNETISM

CONTENTS

Preface

Foreword

I An Outline of Paleomagnetism.....	1
1.1 Purpose and task of paleomagnetic research	1
1. Research of history and evolutionary rules of earth magnetic field.....	1
2. Close and wide connection with other subjects of geology.....	2
1.2 History of paleomagnetism	3
1. Early exploring of geomagnetism.....	3
2. Recent research of paleomagnetism.....	4
3. Main achievements and prospects of paleomagnetism	6
4. Progress of Paleomagnetic research in China	10
II Bases of Paleomagnetism	12
2.1 Basic concepts of paleomagnetism	12
1. Geomagnetic elements	12
2. Basic properties of geomagnetic field	13
3. Composition of geomagnetic field	14
4. Changes of geomagnetic field	18
5. Genetic problems of geomagnetic field.....	20
2.2 Magnetism of material and some magnetic minerals	22
1. Nuclear magnetism	22
2. Magnetic domains and macroscopic magnetization.....	24
3. Several main magnetic minerals.....	28
2.3 Magnetization of rocks.....	30
1. Magnetic properties of rocks.....	30
2. Several genetic ways of natural remanent magnetization of rocks	31
3. Necessary conditions of paleomagnetic research	33
2.4 Reversals of magnetization in rocks	34
1. Field-reversal and self-reversal	34
2. Correlation of petrology and polarity	38
3. Correlation of polarity and rock ages	39
4. Transitions of polarity	40
5. Reversals of the Earth magnetic field and polarity time-scale.....	41
6. Changes of polarity and biologic evolution.....	42
III Methods of Paleomagnetic Research	44

3.1 Orienting sample collection in the field	44
3.2 Paleomagnetic measurements and instruments	49
1. Astatic magnetometer	49
2. Spinner magnetometer	52
3. Fluxgate spinner magnetometer	53
4. Superconducting magnetometer	55
5. The application of Euler's angle in coordinate transformation	58
3.3 Tests for stability of remanent magnetization in rocks and demagnetiza- tion.....	57
1. Tests for stability of remanent magnetization	57
2. Demagnetization or magnetic cleaning	61
3.4 Processing and disposing of paleomagnetic data.....	65
1. Mean direction of remanent magnetization in rocks and position of paleomagnetic pole.....	65
2. Estimation of paleomagnetic direction precision and dispersion.....	68
3. Stereographic projection and its application in paleomagnetism	70
4. Illustration method of Zijderveld vector	73
IV Some Application of Paleomagnetism in Earth Sciences	74
4.1 Paleomagnetic application in stratigraphy and geochronology	74
4.2 Paleomagnetic application in paleogeography, paleoclimates and for- casting of depositional minerals	83
4.3 Paleomagnetic application in tectonics	87
4.4 Quaternary paleomagnetic research.....	92
4.5 Precambrian paleomagnetic research	97
4.6 Ancient geomagnetic field intensity and archaeomagnetism.....	99
1. Ancient geomagnetic field intensity during geological time	99
2. Secular variation of geomagnetic field during ancient time	101
3. Virtual geomagnetic pole wander paths during the last several thousand years	103
4.7 Application of paleomagnetism to other Earth sciences.....	105
1. Research on the magnetism of meteorites and lunar rocks	105
2. Changes of the ancient Earth radius and the hypothesis of the Earth expansion	107
3. Research on tectonomagnetism and mobility of earthquakes.....	108
Appendix Common magnetic physical measure units in paleo- magnetic research	110
References.....	111

第一章 古地磁学概述

本世纪50年代以来，古地磁学 (Palaeomagnetism) 已成为地球科学中一门独立的学科，获得了许多富有意义的研究成果，以致引起地球科学上一场划时代的变革，促进了地质学理论与实践的重大发展。本章将概括地介绍古地磁学的基本内容、研究历史、学科动态与发展方向，使读者对古地磁学有一个基本的了解。

第一节 古地磁学研究内容与任务

一、地球磁场的历史与演变规律

在地球物理学领域中，大部分学科都是研究现代地球的各种物理特征的，其中，作为一门非常重要的分支学科——地磁学，是研究当代地磁场的基本特征、组成及演化，并探讨地磁场起源的学科。地磁学的研究方法是直接凭借地磁台站设置的仪器对地磁要素连续记录，以及地磁场实地测量，包括航海、航空和卫星磁测与地面野外测点的定时观测来获得实际资料，并且对这些资料进行分析与解释，找出其中的规律性。但是，世界上最早建立备有自动照相记录的地磁台，仅有150年左右的历史。我国最早于1877年建立的地磁台是上海徐家汇台，也是现今保存着我国地磁观测绝对值完整数据的一个标准的地磁台。然而，在此时间以前的历史时期，以及漫长的地质时期的地球磁场资料，则完全无法从台站记录或野外磁测得到，要取得这些方面的数据就只有依赖于古地磁学方法。

古地磁学是怎样获得过去地球磁场的信息呢？我们知道，地层中的古生物化石是追溯过去地球生命历史的实证，而过去地球磁场历史演变的证据则靠自然界各种岩石中以及古代陶瓷器皿和焙烧土中残留下来的地球磁场痕迹。Delesse (1849), Melloni (1853), David (1904) 和Chevallier (1925) 等学者，都曾先后不同程度地发现了一些岩石和焙烧土中存在着天然剩余磁性，它们的磁化方向正好记录了岩石生成时或者是焙烧土在加热时地球磁场的方向，这种剩余磁性的方向与岩石形成或焙烧时的地球磁场方向完全一致。

磁石吸铁是我们生活中一个通常可以见到的现象，它就是人们所谈论的物理学中铁磁性物体的一个基本特征。因为物质的剩余磁性及磁滞现象是铁磁性物体的特性，所以，只要岩石中含有一点点，哪怕只是副矿物组分中含有铁磁性矿物，如磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿或含钛磁铁矿等，就必定会有剩余磁性。倘若岩石中的这种剩余磁性是在岩石形成时期获得的，并且一直保存到今天，自然就能够据以追溯过去地球磁场的历史。我们知道了岩石剩余磁性的平均方向，也就可以获得岩石形成时期地球磁场的方向和强

度，这就是人们通常所讲的“化石磁性”。从另一角度来讲，古地磁学就是测定这种“化石磁性”，并且借助于测出的岩石或古代文物以及炉灶、遗址的“化石磁性”来追溯过去的地质时期和人类历史时期地球磁场的方向与强度，以及它们的演化特征。其中，就研究对象与时间而言，人们又把与考古学研究密切相关的一段时间划分出来，专门研究全新世晚期以及人类社会历史时期的古地磁学称为考古地磁学。

二、与地球科学各学科的广泛联系

既然古地磁学是研究过去地球磁场历史的学科，那么，在工作中就要注意了解和认识过去地球磁场的演化及其特征，要处理数据、分析现象、发现问题和研究事物本身固有的内在联系。要进行古地磁学的研究工作，就必须具备地磁学的基础知识。然而，地磁场的历史与地球发展史密切相关，难以设想，不了解地史，会在古地磁学的研究中取得成就。

同样，要了解史前和人类历史时期的地磁场，必须掌握用考古学的传统方法与新技术（物理测试）新方法来确定标本（文物）年代的知识。因此，考古地磁学与考古学，以及它们与确定较新历史年代的物理技术方法之间，都有着十分重要的联系。

古地磁学研究的对象是一些地质体以及古代的文物遗址与炉灶等实物，不仅需要测定出它们的剩磁方向及大小，还要研究它们的成因和物质成分。因此，古地磁学包括考古地磁学在内，与岩石学、矿物学和地磁学等学科必然有着相当密切的内在联系。综上所述，古地磁学是介于地质学、地球物理学和物理学之间的一门边缘学科。

通常，古地磁学包括三个方面的基本内容。一是属于岩石磁性方面的研究，其内容

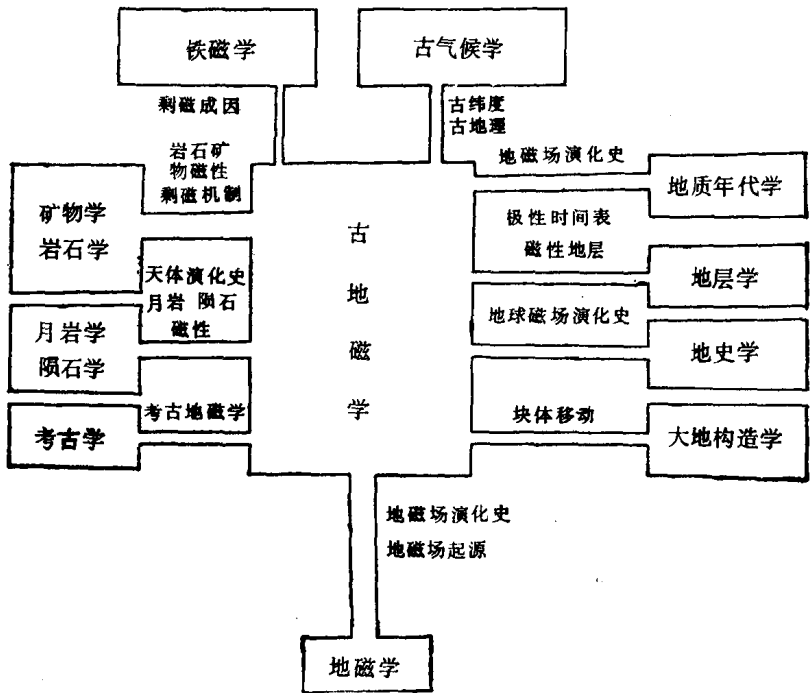


图 1-1 古地磁学与若干学科关联图

在于阐明所研究岩石的磁性组成、存在形式、状态和特征，以及它们组成之间的相互关系，或者所谓岩石的铁磁性矿物组成以及磁组构特征的研究；二是岩石剩余磁性的研究，特别是对它们所反映的地质学意义的认识，也就是将古地磁学数据应用于解释各种地质问题的研究；三是过去一段时期地磁场的缓慢变化（或长期变化）的研究，这是与考古学问题以及地磁学研究关系十分密切的课题。

古地磁学内容丰富，是一门联系广泛的地球学科（图1-1）。由于古地磁学的测定对象可以是来自大陆上的沉积岩（或沉积物）、火成岩和变质岩，也可以是来自海洋中不同场所的各类岩石，还可以是诸如月岩等地球以外物质以及各类陨石等，因此，古地磁学研究能够为地球科学中许多有意义的研究课题提供十分有用的结果和必要的实验数据，在地学研究领域中发挥着极为重要的作用。

第二节 古地磁学研究历史

一、早期的地磁探索

历史证明，我国是最早了解并应用磁学知识的国家。早在公元前 239 年，秦朝吕不韦编纂的《吕氏春秋》，后由汉朝高诱做了注释。该书季秋纪卷九的顺民、知士、审己、精通一文中记述道：“慈石召铁，或引之也。”“石铁之母也，以有慈石故能引，其子石之不慈者亦不能引也。”其中的“慈”字即今日所用的“磁”字，据考证，在唐朝以前的文字上多使用慈字。就此书的年代而论，它是世界上最早记述磁石吸铁现象的文字。

公元 27—97 年间，东汉时期思想家王充在他的著作《论衡·是应篇》中，最早记载了勺形的司南：“司南之杓，投之于地，其柢指南。”意思是指一个周围刻有子、午、卯、酉等二十四向作为方位指向的方形铜盘，盘子中间有一个十分光滑的圆形空间，当铜盘成水平状态时，把一个用磁石凿雕成的勺形羹匙端正地任意放置在这个铜盘的中央部位上，于是这个羹匙的柄总是朝着午星方向，也就是指向南方（图1-2）。其实，司南

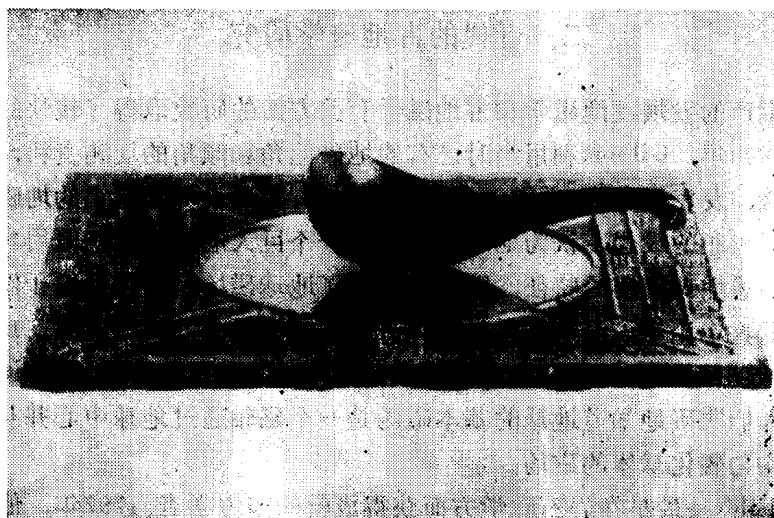


图 1-2 我国最早的指向器具——司南

勺就是指南针的前身，是利用地球磁性来指示方位的一种器具。据考证，这是世界上最早使用天然磁石琢制成勺形的指南仪器，是我国古代四大发明之一。

公元1044年，北宋曾公亮（998—1078）编著的《武经总要》前集15卷中，记载了天景噎霾和夜色冥黑之时指南鱼能够辨别方向的事。书中还特别记述了指南鱼的制作和使用，“鱼法以薄铁叶剪裁，长二寸阔五分，首尾锐如鱼形，置炭火中烧之，俟通赤，以铁钤，钤鱼首出火，以尾正对子位，蘸水盆中，没尾数分则止，以密器收之。用时置水碗于无风处，平放鱼在水面令浮，其首常南向午也。”据考证，这是世界上关于利用地磁场进行人工磁化的最早文字记载，正是铁针在地磁方向上进行的热剩余磁化。

公元1086年，北宋沈括《梦溪笔谈》记载：“方家以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也。”这实际上也就是我们今天关于地磁偏角的概念。沈括在书中另一处还提到：“以磁石磨针锋，则锐处常指南；亦有指北者，恐石性亦不同，如夏至鹿角解，冬至麋角解，南北相反，理应有异，未深考耳。”从这些记述中，可以推想当时我们的祖先可能已经注意到诸如今日古地磁界所谈论的岩石反向磁化现象，只不过是当时沈括等尚不可能知道反向的发生机制。

公元1119年，北宋朱彧在《萍州可谈》卷2中曾经记述道：“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针。”这表明我国在12世纪初期就已将指南针之类的定向仪器应用于航海。该书也是我国最早使用指南针航海的文字记载。

公元1695年，清初刘献庭编的《广阳杂记》写道：“磁石吸铁，隔碍潜通，……唯铁可以隔之耳。”根据有关文献报道，认为这是在磁屏蔽方面的最早文字记载。

西方关于磁性知识的文献记载远远晚于我国。1269年，Peregrinus 在欧洲注意到磁石的极性现象，并且发现了磁铁表面具有指北和指南的性质。就在此时前后，西方人才采用类似于沈括记载过的方法造出了指南针。1544年，Hartmann 发现了地磁倾角的存在。1576年，Norman 的著作中首次记载了欧洲一些地方磁偏角和磁倾角的变化。1926年，Mercanton才注意到世界上一些地区的地理南北与罗盘指针的指向之间存在的不一致现象，其间角度之差也就是现代地磁学中所定义的磁偏角。

二、近代的古地磁学研究

随着社会生产的发展，地磁学和古地磁学有关方面的研究取得了较快的进展与非常明显的成就。1600年，Gilbert利用当时已有的地磁偏角和倾角的观测资料，根据自己长期的设想和实验，发表了专著《磁体》（*De Magnete*），这是世界上有名的地磁学作品，对地球磁场提出了大胆的设想，认为地球本身就是一个巨大的磁性体。他用均匀磁化球体磁场的概念来描述地球磁场的特征，第一次指出了地球磁场是一个近似于偶极子磁场的概念。Gilbert的这个论点，至今在科学研究方面还具有重要的实际意义。1839年，德国数学家Gauss推导出地球上任意一点磁位的球谐函数，从理论上证实了Gilbert对地球磁场的判断，使人们明确地知道地球的基本磁场是一个磁轴通过地球中心并与地球的自转轴稍有偏离的均匀磁化球体的磁场。

Von Humboldt是最早在岩石磁学方面获得成就的西方学者。1797年，他发现巴拉廷纳特山上的岩石具有足够强的磁性，以致罗盘的读数发生偏差。他还注意到自然界的雷

电现象对强磁性岩石磁化的影响。正因为如此,在山顶上使用罗盘时也会发生差错。1849年,Delesse首先写出了岩石天然剩余磁性方向的研究报告,测定出一些熔岩的剩磁方向总是平行于当地的地磁场方向,并且被均匀地磁化。随后,1853年,Melloni证实了Delesse的这些论点,发现意大利维苏威火山现代熔岩流的磁化方向与地磁场方向是一致的。1904年,David研究了熔岩流附近烘烤物质的磁性,指出当它们在同时受到磁化时所获得的磁化方向应是相同的。1906年,Brunhes在法国首先发现了熔岩的天然磁性是与当今地磁场方向恰好相反的磁性,他在结论中明确地指出这种反向磁化现象绝非是自然界雷电影响的结果。随后,1926年,Mercanton测量了西北欧以及澳大利亚等世界许多地方的岩石剩余磁性后,证实Brunhes发现岩石反向磁化的确是一个具有世界意义的普遍现象。1929年,日本学者松山基范(Matuyama)在其研究报告中指出,一些第四纪早期熔岩的磁化方向与今天的地磁场方向相反,而第四纪晚期的岩石所具有的磁化方向却与今天的地磁场方向完全一致。

Chevallier的工作是卓有成效的。他于1925年发表了埃特纳火山熔岩剩磁的测定数据,描绘出12世纪以来地磁场方向变化的踪迹,并且将自己测定岩石剩磁所推导出的地磁场数据与同时期的磁测数据作比较,表明二者基本上是相同的。

到了1930年以后,不少古地磁学者把主要精力放在磁测量技术和分析方法研究上,其中,做出贡献的有Fisher(1953)的球函数分布,也就是剩磁矢量离散度的研究;Blackett(1952)无定向磁力仪的制作与使用的研究等。这些工作成果使得古地磁学在技术与方法方面进一步完善起来,并且扩展了学科的研究领域。

从古地磁学近期研究历史来看,古地磁学真正成为一门学科,是从本世纪50年代开始的。这门学科当初只有英国、法国、日本及苏联等国进行了一些研究,以后随着国际地球科学合作计划的实施,促进了古地磁学的迅速发展。国际地球物理年,古地磁学的一项明显成果,就是确定了在地质时期中地球磁极的位置并不是固定不变的,指明地球磁极的位置随着地质时期的推移而不断地变化。后来,在地壳及上地幔计划实施中,人们对大陆上火山熔岩以及海底条带状磁异常的测量,结合同位素年代测定,发现地质时期地磁场的极性曾经有过多次倒转。Cox

(1969)综合编制出450万年以来的地磁极性年代表(图1-3),对研究现代地磁学及第

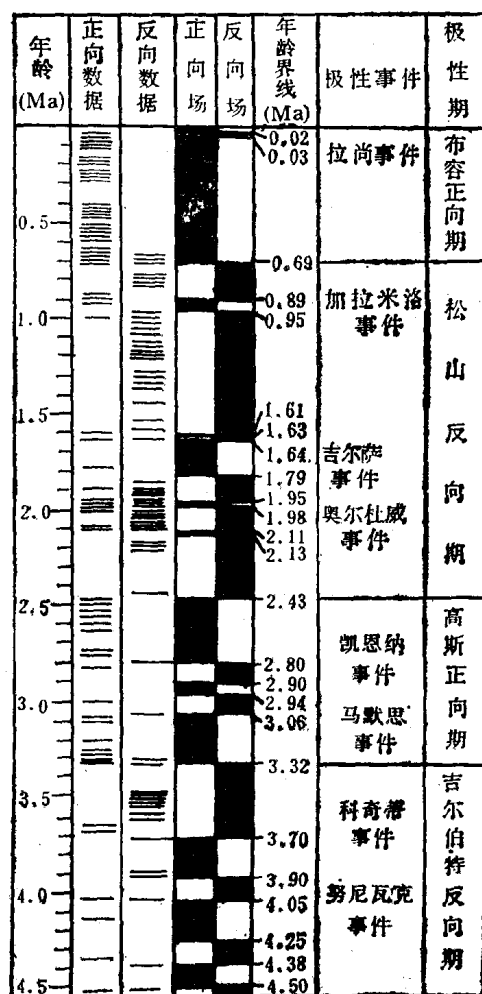


图 1-3 450万年以来的地磁极性年代表 (Cox, 1969)

四纪地质学等学科问题具有十分重要的意义。这个时期古地磁研究成果还揭示出海洋中由洋脊向其两侧出现的极性是呈现正反交替的磁化方向，并且是对称分布的。通过同位素年代测定得出的结果是靠近洋脊的岩石年龄比较新，远离的则比较老。于是，Dietz (1960) 正式提出了海底扩张的设想。不久，Wilson (1963, 1965) 又进一步发展并提出了转换断层的概念。在此基础上，1968年由Morgan, McKenzie, Le Pichon等人提出了全球构造——岩石圈板块构造的概念，把地球岩石圈划分为六个大的板块。同样，不久前结束的地球动力学计划中古地磁大量研究结果都证实了这些论点的正确性，并使学者们进一步考虑更古老的地质时期地磁场的倒转，以及各个大陆块体的内部微板块的划分与移动问题。

三、古地磁学的主要成就与发展方向

自从古地磁学正式发展成为一门独立的地学分支学科以来，最近30年中的主要成就可以概括为下面三个重要方面(刘椿，1981，1982a)。

(1) 在地球发展历史上，地磁极的位置在不断地移动。古地磁学研究得出的各个地质时期的古地磁极位置是根据测得的各地质时期形成的岩石平均剩余磁化方向换算出来的，因此，它只是近似于当时地球磁极的真实位置。大量的古地磁学研究数据表明，各个地质时期的古地磁极位置不是总停留在一个坐标点上的(表1-1)。又譬如根据我国

表 1-1 世界上一些地区岩石所测得的地质时期平均地磁北极位置
(Seyfert, C. H. 等, 1979)

地质时代	北 美	欧 洲	西伯利亚	非 洲	澳大利亚	南 美	印 度
第三纪	86°N, 158°W	76°N, 179°E	81°N, 131°W	83°N, 115°E	70°N, 56°W		35°N, 82°W
白垩纪	69°N, 168°W	85°N, 176°W	70°N, 168°W	71°N, 109°W	53°N, 31°W		15°N, 59°W
侏罗纪	68°N, 147°E	77°N, 139°E	70°N, 148°E	67°N, 109°W	45°N, 37°W	87°N, 110°W	
三叠纪	65°N, 96°E	52°N, 141°E	62°N, 153°E	69°N, 104°W	53°N, 28°W	84°N, 102°E	11°N, 54°W
二叠纪	49°N, 120°E	49°N, 169°E	63°N, 177°W	43°N, 97°W	41°N, 41°W	75°N, 152°E	15°N, 60°W
石炭纪	37°N, 125°E	37°N, 166°E	45°N, 170°E	40°N, 145°W	62°N, 29°W	58°N, 157°E	32°S, 46°W
泥盆纪	29°N, 121°E	32°N, 162°E	28°N, 162°E		41°N, 136°W	5°N, 141°E	
志留纪		21°N, 159°E	19°N, 156°E				
奥陶纪	32°N, 122°E	13°N, 165°E	25°S, 135°E	60°S, 169°E	15°N, 155°W	8°S, 144°E	
寒武纪	3°N, 179°W	20°S, 168°E	33°S, 133°E	61°S, 173°E	9°N, 160°E	25°S, 130°E	28°N, 148°W

新生代岩石古地磁测定的结果，古地磁极的位置坐标按照现今地理纬度而言，更新世时期大多数地磁极在北纬80°左右，而第三纪则在北纬60—70°之间。

(2) 处在同一个大陆块内，也就是在一个大的板块构造单元内，属于同一个地质时期的岩石所得到的地磁极位置十分接近，不同的地质时期的地磁极位置则不同。对世界各地采集的不同地质时期的岩石所进行的古地磁研究表明，古地磁极位置的变动是有一定规律可循的。欧亚板块的岩石古地磁数据表明，显生宙以来的地磁极移动轨迹大体上是由太平洋的东南开始，经过国际日期变更线从纬度低处向纬度高处逐渐移动到现代地球磁极位置的一条曲线(图1-4)。然而，在不同大陆块上，相同地质时期岩石所测得的古地磁极位置却具有相当大的差异，譬如，第三纪初期岩石的古地磁测定结果表

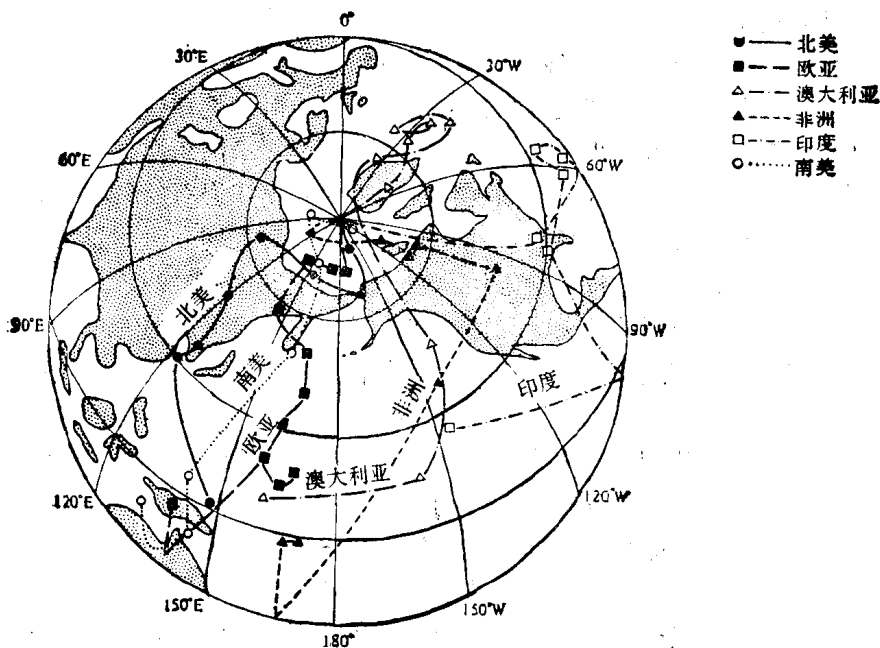


图 1-4 由各大陆岩石测定的地质时期地磁极移动曲线

(据Seyfert等, 1979)

明, 在欧亚板块上测定的地磁极位置, 就其纬度而言是处在现代地理坐标的北纬60—70°, 印度洋板块中印度次大陆测得的同一时期地磁极位置却是处在现代地理坐标的北纬30—40°。我们知道, 今天在地球表面上只能有一个地理南极与北极, 以及一个地磁南极与地磁北极, 但是, 一些古地磁研究出现了不同的结果, 这就要求人们对此现象做出合理的符合实际的解释。从英国和北美的岩石测得地质时期的地磁极移动轨迹是两条非常相似的曲线 (图1-5), 表明北美地块相对于欧洲地块在地质时期曾经发生过向西的移动, 这是英国古地磁学家Runcorn (1956) 教授首先提出的一种为大多数人们所能接受的观点, 他解释造成这种古地磁极位置差异的原因, 正是由于在地质历史上北美地块相对于欧洲地块曾经发生过向西水平移动的结果。

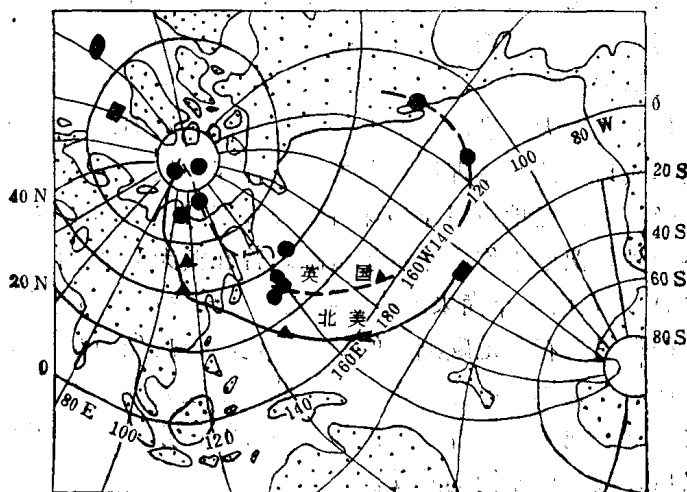


图 1-5 从英国和北美的岩石测得的地质时期地磁极移动轨迹

(据Runcorn, 1956a)

(3) 在地球发展历史中, 地球磁场的极性曾经发生过多次频繁的倒转。事实上, 早在20世纪初期, Brunhes (1906) 就发现了岩石的剩磁方向有与今天地磁场方向完全相反的现象, 他注意到这种现象有可能是由于这些岩石在生成时期地球磁场发生过倒转所造成的。的确, 在最近30年里有不少学者相继在日本、朝鲜、中国东北、苏联土库曼、冰岛、西西里、夏威夷等世界各地的一些新生代火山岩中测出了岩石反向磁化的现象。人们注意到, 所有这些地区岩石的地质时代都是相同的, 这种在同一时间里出现的全球性岩石反向磁化的现象, 只能是过去的地磁场在极性方向上发生倒转的结果。现在, 已知每个地质时期中皆有地磁场倒转发生, 只不过在不同地质时间里出现的极性变化有所不同而已。譬如, 第四纪晚期以来, 基本上呈现正向极性, 即与现在地球磁场相同方向的极性; 二叠纪却是方向与现在地球磁场相反的, 负向极性占着绝对优势的地位。古地磁学最新研究成果表明, 从侏罗纪卡洛期到现在约168百万年以来的漫长时期中, 地球磁场倒转次数共经历了29个混合极性时 (即自卡洛期至三叠期的 M_{20} 号至 M_{0N} 号极性时) 和33个正向与反向的极性时 (即自坎潘期至现今的由33_r至1号极性时)。尤其要强调的是, 其中作为早第三纪古新世与晚白垩世马斯特里赫特期的界线是在第29号R极性时内, 从而表明, 地质时期地磁场极性倒转的发现, 为古地磁地层学 (或称磁性地层学) 的研究奠定了基础, 也为海底扩张理论以至板块构造学说提供了重要的依据 (图1-6)。

此外, 自从本世纪60年代末期以来, 电子技术的飞跃发展, 也促进了古地磁学实验室研究仪器与设备的现代化。人们还曾记得, 50年代无定向磁力仪是采用格值法, 依赖于灯尺肉眼读数来测量标本, 通常一块样品的测量时间最少需要20多分钟, 倘若仪器阻尼不佳, 则占时间会更长, 更重要的是安装此种类型仪器所需要的实验室场地条件相当苛刻, 限制了仪器的使用。现在, 新型的无定向磁力仪采用了集成电路装置, 又增添了反馈电流系统, 用数字显示直接给出测量结果, 仅要5—6分钟就可测完一块样品。尤其是70年代以来, 旋转磁力仪的制作取得了极大的进展, 弥补了无定向磁力仪的许多不足, 加之仪器本身又增设磁屏蔽系统, 免除了现在地磁场及周围磁性物体对测样过程的干扰, 因而对实验室基建条件可不必过分地要求, 特别是采用了电子计算机控制测量程序和数据自动化处理, 并配有电传打印装置以及自动绘图设备, 仪器的灵敏度和精确度得到了明显提高, 同时又缩减了测量时间, 把原来需要一两个月时间的测量仅在几小时内就可以完成了。更值得提出的是, 超导磁力仪的使用给古地磁学实验室工作带来了重大的变革。显然, 仪器的重大改进, 也扩大了测量样品的范围, 从而使古地磁学在地球科学, 尤其是地质学领域中的基本理论问题方面发挥了积极作用。

当前, 古地磁学已经广泛地应用于地球科学许多领域, 特别是在讨论地球动力学及再造南半球冈瓦纳大陆等课题上作出了卓越贡献。曾在澳大利亚国立大学工作过的McElhinny等 (1976) 对其中一个尚未解决的问题——马达加斯加岛过去的地理位置提出了看法, 他们根据那里岩石古地磁测定的数据断定, 该岛先前是在位于今天所处位置的北边, 靠近肯尼亚和坦桑尼亚的非洲东海岸。此外, 还完成了绘制冈瓦纳大陆从前寒武纪一直到新生代的整个地质时期古地磁极移动图谱的任务。这个图谱表明, 南大陆是在中生代三叠纪以后才破裂成不同的陆块。

古地磁学在地层学研究方面的应用也是一个不容忽视的重要方面, 它已不再是仅仅局限于红层的划分和对比问题, 只要是岩石中有含铁的火山岩建造、磷酸盐建造、硅