

古地磁学讲义

李 普 叶祥华 张文治 编
姜 枚 王秀昆

中国地质科学院

1981年10月

前 言

古地磁学的成就引起了多方面的重视，很多领域里得到了应用，国际学术交流也越来越多。最近几年，地质部门的不少研究单位和野外队及学院，用于古地磁工作的投资和工作人员都大为增加，并取得了可喜的进展；同时要求开展古地磁工作的呼声普遍高涨，许多单位积极进行筹备。为适应这种发展形势，充分发挥现有设备的能力，中国地质科学院于一九八一年加强了十三陵古地磁实验站的领导和建设，并组织本院地质力学所、矿床所、天津地矿所、抚顺所、成都地矿所，以及成都地质学院、云南省地质所等单位的有关同志，共同进行了古地磁站仪器设备的安装、配套和维修，并完善了实验室的管理。还为了充分发挥古地磁站的作用，做好古地磁站的测试和正确地使用古地磁方法，扩大古地磁工作的队伍，决定举办古地磁测试和古地磁方法两个学习班。这本讲义就是为古地磁学学习班使用的教材，并供从事古地磁工作的地质人员参考。讲义编写的内容，除基本原理外，着重于方法的使用，资料的整理和实际应用，特别是在解决目前遇到的各种地质问题中的应用效果。取材力求新颖，叙述避免繁琐。但是，由于编写讲义的时间短促，又限于业务水平，难免有谬误之处，谨希读者批评指正。

编 者

一九八一年十月

目 录

前 言

第一章 概 论	1
第一节 古地磁学的任务	1
第二节 古地学的研究内容	2
第三节 古地学的研究历史	3
第四节 古地磁学的主要成就	7
第五节 我国古地磁学研究工作的概况	8
第六节 古地磁学中的磁学物理量单位	10
第二章 地球的磁场	12
第一节 地磁要素	12
第二节 地磁场的构成	13
第三节 正常地磁场	15
第四节 地磁场的变化	25
第五节 古代地磁场的特征	26
第三章 铁磁性和造岩磁性矿物的磁性	39
第一节 物质的磁性	39
第二节 铁磁质的主要特点	41
第三节 造岩磁性矿物的磁性	45
第四章 岩石的磁性	47
第一节 岩石剩余磁化的类型	47
第二节 热剩余磁化强度	49
第三节 碎屑剩余磁化强度	60
第四节 化学剩余磁化强度	65
第五节 粘滞剩余磁化强度	67

第六章	其它剩余磁化强度	69
第七章	剩余磁化强度的稳定性	73
第五章	岩石的磁特性常数	75
第一节	岩石的磁化率	75
第二节	岩石的磁滞回线	76
第三节	岩石的居里点	76
第四节	测定磁性矿物的方法	77
第六章	标本的采集	89
第一节	工作地区的选择	89
第二节	定向标本的采集	91
第三节	原始水平面的确定	95
第四节	古地磁学中的坐标和坐标变换	95
第七章	测量方法及实验室退磁折验	99
第一节	岩石剩余磁性测定的仪仗	99
第二节	剩余磁性稳定性的折验	110
第八章	资料整理	124
第一节	古纬度和古地磁位置	124
第二节	古地磁数据的统计整理	125
第三节	古地磁资料的进一步整理	132
第九章	古地磁学在地质学方面的应用	138
第一节	古地磁与大陆漂移	138
第二节	海底扩张的古地磁证据	151
第三节	利用古地磁方法研究地质构造	160
第四节	利用古地磁资料对比地层时代	171
第五节	古地磁、古纬度和预测沉积矿床	184

第一章 概 论

第一节 古地学的任务

古地磁学是在地磁学基础上发展起来的一门新兴的学科。

众所周知，地磁学是研究当今地球磁场的组成、特征及其演化和起源等的学科。它直接依据地磁台长期观测和采用多种运载工具（空中、海上、陆地）的仪站进行定时、定点实地观测获得的资料，来研究地磁场的有关规律。尽管人们对地磁场的认识可以追溯到几千年以前，但是，对地磁场系统的观测却为时不久，对磁偏角的系统观测约有五百年的历史，对磁场强度的系统观测只有一百多年的历史，世界上最早的地磁台仅有四百年的历史，我国第一个地磁台乃是1887年建立的余山地磁台。因此，利用直接观测的资料不可能了解更远时期的地磁场。为此，需要进行古地磁学的研究。

古地磁学是借助于测定岩石和古代文物的剩余磁化强度，来研究相应地质时期和人类历史时期地球磁场的特征及其演变的学科。对古地球磁场的研究被用于解决地质、构造、改造等方面问题并取得了重大的进展，其中与改造有关的古地磁研究，业已独立为一门新的改造地磁学。

被称作“近代古地磁学研究先驱者”M. 美洛尼 (Melloni, M (1853年))、(David, P. C (1904)) 和 (Chevallier, R (1925)) 等人，曾先后发现一些岩石和焙烧粘土中存在着天然剩余磁性 (NRM)，这种天然剩余磁性记录了岩石生成时期或粘土焙烧时期地磁场的信息，天然剩余磁化强度的方向与岩石形成时期或粘土焙烧时期的地磁场方向一致，而且这种剩余磁性可以保存相当长的时期。因此通过测定岩石或古代的砖瓦、陶器和冶炼炉等焙烧粘土制品的天然剩余磁化强度的大小与方向，为

研究古代地磁场的特征和演化奠定了基础。

第 二 节 古地磁学的研究内容

古地磁学是介于物理学、地球物理学与地质学之间的边缘学科。它在地壳与上地幔研究中，就其理论意义而言，已经处在一个新的转变阶段，古地磁学推动了地球科学的“革命”。它不仅在本领域研究中使人们认识到地球磁场的倒转和演化，还在海底扩张，大陆漂移和板块构造学说中建立了功勋，而且在考古磁学、磁性地层学、古纬度的研究以及寻找沉积矿产资源、地质填图等生产实践活动方面均发挥着越来越重要的作用。所以，就其在地球科学中所取得的巨大成就而言古地磁学已经正式成为一门较为完善的近代学科，并越来越为地球科学工作者所重视。

概括地讲，古地磁学主要研究下述三方面的内容：一是研究岩石的磁性，也就是阐明所研究岩石的磁性组分、存在形式、状态和特征，以及各组分之间的相互关系；二是研究岩石的剩磁，特别是通过对剩磁的研究，再来解决地质学的有关问题；三是研究过去一个时期地球磁场的缓慢变化，它与考古学问题以及地磁起源等问题有密切关系。鉴于古地磁学丰富的研究内容，使它成为一门有广泛联系的地球科学。它的研究对象可以来自月球等球外物质以及陨石之类的样品，也可采集地球上的沉积岩、火成岩（包括各种火山岩）和变质岩等标本，还可测定来自海洋中不同场所的各类岩石。总之，古地磁学包括了地球科学中的许多有意义的问题。因而，这门学科从五十年代以来就一直成为国际地球科学合作计划中一项重要的研究手段，承担着有关课题的研究，例如，在国际地球动力学计划中，是借助于古地磁学资料来进行区域古动力史的研究，即从

另一个侧面来探讨地壳运动的规律；又如，在岩石圈研究计划中，研究岩石圈起流与演化，特别是前中生代构造和大陆板移轨迹中以及板块运动的再造问题中，古地磁学研究更具有重要的作用。目前在苏美等国古地磁资料已成为地质报告中不可缺少的组成部分。

第 三 节 古地磁学的研究历史

1. 古代对地磁学的研究

众所周知，中华民族对磁学知识的了解和应用是最早的，仅简要地举出几个事例就足以说明：

早在公元前 239 年，《吕氏春秋·精微》上记述到“磁石召铁，或引之也。”“石之不慈者，亦不能引也。”在古代慈与磁字是同意的，所谓慈石，即现今的磁铁矿。从记载的时间而言，这是世界上最早记载磁石吸引铁的现象文本。

公元 25 年至 220 年，东汉王充在《论衡·是应》中最早记载了勺形的司南：“司南之杓，投之于地，其柄指南。”司南勺就是指南针的前身。这是利用磁性指示方向的一种工具，它的发明是我国古代人民的重大贡献，也是世界上最早利用天然磁石琢制成勺形的指南仪。

《晋书》中有：“夹通累磁石，则负铁铠者，不得前。”天然磁石是否有如此大的吸力，是值得怀疑的，这个记载至少说明 1600 年前的我国人已经知道利用磁石吸引铁器的特性。

公元 1044 年，北宋曾公亮主编的《武经总要》中记载了指南鱼能够识别方向以及具体的制作方法，书中写道：“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，候通赤，以铁钎，钎鱼首出火，以尾正对子位，蘸水盆中，没尾数分则止，以密口收之。用时置水碗于无风处，平放鱼在水

面令浮，其首常南向午也。”这是世界上关于利用地磁场进行人工磁化的最早记载。这个记载实际上也表明了古代我国人在当时已经知道并且利用了地磁偏角和地磁倾角的知识。

我国明确地记载地磁偏角的是北宋的沈括，在他编著的《梦溪笔谈》一书中曾写到：“方家以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也。水浮多荡摇，指爪及唇上皆可为之，这转尤速，但坚滑易坠，不若缕悬为最善。……其中有磨指北者。予家针南北者皆有之。磁石之针南，犹柏文指西，莫有反其理。”此外，他还写道：“以磁石磨针锋，则锐处常指南；亦有指北者，恐石性不同，如夏至鹿角解，冬至麋角解，南北相反，理应有异，未深致耳。”从后一段话中可知，北宋时人们已经注意到岩石反向磁化的现象，只不过他们在当时并未弄清楚岩石反向磁化的原因。

公元1119年，北宋朱或在《萍州可谈》中曾经记载了“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针。”说明当时我国人民已把指南针用于航海事业。

在公元1695年，清初刘猷庭的《广阳杂记》一书中写道：“磁石吸铁，隔纸潜通，……唯铁可以隔之耳。”这是我国关于磁屏蔽的最早记载。

然而，西方各国关于地球磁场方面的研究，无论在地磁现象的发现，指南针的发明，还是有关地球磁性知识的理解和利用都比中国要晚得多。如1205年法国制造了指南针。1269年，Petrus Perigrinus在欧洲最早注意到磁石的极性现象，发现磁铁两端有指北和指南的性质。1544年，Georg Hartmann发现了地磁倾角的存在。1546年，Gerhard Mercator注意到世界上一些地区的地理座标与罗盘的指向之间存在着不一致，也就是所谓磁偏角的存在。1576年，Robert Horman第一次

记录了欧洲一些地方磁倾角和磁偏角数值的变化。

2. 古地磁学的近代研究史

随着社会生产的发展，地磁学和古地磁学的研究也取得了较快的发展和明显的成就。

早在1600年，英国医生威廉·吉尔伯特(William Gilbert)发表了一篇《磁学(De Magnete)》的论文。他在这一著名的文章中使用了均匀磁化球体的概念来描述地球磁场的特征，第一次指出了地球磁场具有偶极子磁场的特性，他的这个论点至今还具有较为重要的意义。最早在岩石磁学方面获得成就的是Alexander Von Humboldt，他在巴拉圭纳特山上发现岩石本身有足够大的磁性，以致使罗盘读数发生偏差，同时他还注意到自然界的雷击现象对强磁性岩石磁化的影响。Delesse.

A于1848年第一次写出了岩石天然剩余磁性方面的研究报告，通过实验还指示一些熔岩的剩磁是平行于地磁场而均匀地磁化着。随后，1853年，Melloni. M也发现意大利维苏威火山和菲列格拉安场地的熔岩流的磁化方向平行于当地地磁场方向。

1904年，David. P研究了受熔岩流烘烤的物质，当它们同时受到磁化时获得的磁化方向是相同的。1906年，Brunhes. B在法国首次发现了熔岩的天然剩余磁化方向与现今地磁场方向恰恰相反，他在结论中明确地认为，这种反向磁化现象并非是自然界雷电影响的结果。随后，1926年，Meranton. P. L.通过测量西北欧和澳大利亚等地的岩石磁性，进一步证实了

Brunhes所发现的岩石反向磁化现象，的确是一个具有世界性的现象。1929年，日本学者松山基范(Matuyama. M)指示，第四纪早期的一些熔岩的磁化方向与现今地磁场方向相反，而只是第四纪晚期的岩石磁化方向才与今天的地磁方向一致。

世界公认的近代古地磁学的先驱者 Raymond. Cheralier

于1925年发表了对埃特纳火山熔岩的剩磁测定的数据，提出12世纪以来地磁场方向变化的踪跡，根据岩石剩磁测定的地磁场数据与同时期历史记录相比，大致相同。

1930年以后，古地磁的主要工作是改进测量技术和分析方法，包括：Louis · Neel 的反磁化现象的物理机制解释以及 Ronsla · Fisher 的球函数分布，即关于剩磁方向的有关球的离散方向的研究；英国人 Blackett · P · M · S 的无定向磁力仪的制作与使用等工作。实际上，古地磁学真正成为一门学科，应当是本世纪的五十年代，最初的工作仅在英国、法国、日本和苏联开展了一些研究，以后国际地学科学合作计划的实施才促进了这门学科的较大发展。国际地球物理年，古地磁学的明显成果是确立了地质时期古地磁极的位置并不是一成不变的，恰恰相反，随着时间的推移也是在变动着。后来，地壳及上地幔计划的实施，人们对大陆的火山熔岩以及海上条带磁异常的测量，并结合同位素年代测定，发现地质时期地磁场发生过多次频繁的倒转。由此，A · Cox 于1968年综合编制出450万年以来地磁极性倒转时间表，对研究现代地磁学以及第四纪地质等问题有重要的意义。这个时期古地磁学的研究还揭示海洋中由洋脊向其两侧极性呈现正反交替的磁化方向，并且它们是对称的，同位素年代测定给出靠近洋脊的岩石年龄愈新，远离的则愈老。于是最早由 H · H · Hess 设想而很快由 R · S · Dietz 于1960年正式提出了海底扩张的概念。进一步的发展，是由 T · Wilson 提出了转换断层的概念。在此基础上，最后，Morgan, McKenzie, Leplachon 等人提出了全球构造——岩石圈板块构造说，并把地球的岩石圈分为六大板块。同样，在地球动力学计划中，古地磁学的大量研究结果也都证实了这些观点的正确性并进一步研究更老地质时期地磁场

的倒转，大陆块体的移动问题。

第四节 古地磁学的主要成就

古地磁学在最近卅年来的主要成就，可以概括如下：

1. 在地球发展历史中，地球极一直是在不断地移动着，并非是固定不动地行迳在今天的位置。古地磁学所得到的某一个地质时期的古地极位置，是根据测得的地质单位岩石的平均剩磁方向换算来的，因此它只是近似于当时地极的真实位置。大量的古地磁学研究数据指示，各地质时期中的古地极位置并不总是行迳在一点上。例如，我国更新统古地磁学研究表明，当时的古地极位置座标就其所处纬度而言，大约是在 80° 左右，第三纪应在 70° 左右。

2. 处在同一个大块内，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极位置十分接近，不同的地质时期则有不同的地极位置。古地磁学的研究结果表明，从世界各地采集到的，不同地质时期岩石所测定的古地极位置的变动是有一定规律的；总的来看，亚欧板块的岩石古地磁学数据表明，从前寒武纪到第四纪以来的地极移动轨迹是由太平洋的东南开始大致上经过国际日期变更线，从低纬处向高纬度处逐渐移动到今日地极位置的一条曲线。相同的地质时期，在不同的大块上所测得古地极位置却有相当大的差异。例如，第三纪初期的岩石古地磁学研究，在亚欧板块测定示的地极位置就纬度而言是处在今日地理座标的 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。而印度次大陆测定示的同时期地极位置却在今日的地理座标 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。从英国和北美的岩石测得地质时期的地极移动轨迹是两条相隔一定距离而又相似的曲线。英国古地磁学家 S. K. Runcorn 首先指出，这种古地极位置差异的原因是在地质历史上，北美

相对于欧洲曾发生过西移的而又有顺时针方向的运动的结果。

3. 在地球的发展史中，地球磁场曾发生过多次频繁的倒转。20世纪初期，布容 (B. Brunhes - 1906) 首先发现了岩石剩磁的反极性现象，岩石的反极性现象可能是这些岩石在生成的时期地球的磁场发生倒转而造成的。后来，不少的学者都相继在日本、朝鲜、我国东北、苏联土库曼、冰岛、夏威夷以及西西里岛等地的一些新生代火山岩中也测定出岩石反同磁化的现象。人们注意到，所有这些地区的岩石具有相同的年代，这种在同一时期里出现的全球性岩石反同磁化的现象，只能认为是过去的地球磁场倒转所致。1963年，坎克斯 (A. Cox)，多尔 (R. R. Doell) 和达端木波 (G. R. Dalrymple) 等人在研究岩石地磁极性的时候，对岩体也作了系统的钾-氩同位素年代的测定，确定了不同的地磁极性时期。1965年坎克斯编制出最近450万年以来的地磁极性时间表，该表对第四纪地质研究有着重要的作用。海洋沉积物的在地磁学研究指示自晚白垩世以来地球磁场倒转的次数约为170余次。现在已知每个地质时期中均有地球磁场倒转发生，只不过是极性不同而已。例如，第四纪的前期基本上是反同极性占主导地位，后期几乎全是正向极性，二叠纪却是反同极性占着绝对优势。

地质时期地球磁场倒转的发现，为磁性地质学的研究奠定了基础，也为海底扩张理论提供了极为重要的依据。

第五节 我国古地磁学研究工作的进展

古地磁是研究地球磁场演变历史的学科。尽管这门学科的兴起不算太长，但是它在地球科学研究的一些领域中却发挥了积极的作用，并跃居为当代地学革命的先锋学科之一，越来越受到地学界更多人士的关切和注视。

我国有着辽阔的疆土，复杂多样的地质条件以及大量的古代遗址和文物，它是古地磁学和考古磁学研究的天然良好场所。

我国卓越的地质学家李四光教授，很早就想利用岩石剩余磁化强度的方向检验地质构造运动。新中国成立后，党和政府十分重视科学事业的发展。早在五十年代，在古地磁学刚刚诞生不久，中国科学院地球物理所就进行了古地磁工作。1958年，由北京大学王子昌教授领导，组织了四个单位的人员进行古地磁研究工作，并纳入科学十年规划，从此，我国古地磁的研究工作就正式开始了。

回顾中国古地磁学的研究史，大致可以划分为如下两个阶段：

1958—1972年，主要对一些震旦纪地层、中生代和第三纪的地层进行了天然剩余磁性的测定。其中1964年到1966年间主要是对古地磁学实验室的无定向磁力仪、交变退磁和加热退磁装置的研制，以及有关的技术方法进行了不同程度的研究。

1972年至今，这个时期的古地磁研究无论就其广度和深度都得到了前所未有的进展。所使用的仪器在灵敏度以及精度方面也有很大的提高，除了一些单位仍使用六十年代水平的无定向磁力仪外，近期，地质部地质力学研究所和科学院几个研究所还进口了具有七十年代先进水平的旋转磁力仪，这些仪器都配有电子计算机和电传打字机，用来自动控制岩石剩余磁性测定的整个过程，并且自动进行数据处理，给出足以可信的测量结果。在研究课题方面，已经超越了地层学的领域，对一些火山岩、第四纪沉积物和近海沉积物、陨石，以及历史时期的古代遗址、炉灶、古砖等进行了古地磁测定，涉及到内容相当广泛的问题。

目前，地质部地质力学研究所、广东省地质局地质矿产研

究所、中国科学院地质研究所、地球物理研究所、地球化学研究所、海洋研究所以及国家地震局地质研究所等单位均设有专门进行古地磁研究的机构，这些单位有大量从事古地磁研究的专家，近年来在古地磁研究方面取得了丰硕的成果。此外，还有一些地质科研、生产和教学单位也在积极开展古地磁学的研究和教学工作，他们正在创造条件，筹建古地磁学实验室。可以确信，今后，中国古地磁学的研究工作必将得到更大的进展。

第六节 古地磁学中的磁学物理量单位

现在，古地磁研究中，厘米、克、秒制 (C.G.S) 电磁单位 (emu) 米、千克、秒制 (M.K.S) 单位 (称国际单位 SI) 都在使用。在这本讲义中，按照我国刚颁布的试行单位名称符号新方案，参攷国际习惯用法，对古地磁常用的磁学物理量单位使用。

表 1. 2 列出的物理量名称及换算关系。

表 1 几个常用单位			
物理量	符号	国际单位制	C.G.S 电磁单位制 (emu)
磁场强度	H T ^{*(注)}	安[培]/米	奥斯特
磁感应强度	B	特[斯拉]	高 斯
磁化强度	J	安[培]/米	高 斯
磁矩	M	安[培]米 ²	高 斯·厘米 ³
体积磁化率	K	享[利]/米	高 斯/奥斯特
磁导率	μ	享[利]/米	高 斯/奥斯特

(注) 在地磁学中通常以 T 表示磁场强度

表 2. M·K·S 单位制与 C·G·S 电磁单位制 (emu)
磁学物理量单位换算

物理量	符号	国际单位与等量的 C·G·S 单位 (有理化)
磁场强度	H T	1 安培/米 = $4\pi \times 10^{-3}$ 奥斯特
磁感应强度	B	1 特斯拉 = 10^4 高斯
磁化强度	J	1 安培/米 = 10^{-3} 高斯
磁矩	M	1 安培·米 ² = 10^{-3} 高斯·厘米 ³
体积磁化率	K	1 亨利/米 = $10^7/4\pi$ 高斯/奥斯特
磁导率	μ	1 亨利/米 = $10^7/4\pi$ 高斯/奥斯特

说明

磁场 在地球学中地磁场用奥斯特单位，而地磁图用伽瓦 (1 伽瓦 = 10^{-5} 奥)。在换算为 SI 单位后，若想保持地磁场约为 0.5 和交变场为几百的大众所熟悉的数字，以及想和地磁图的使用法配合，就必须用磁感应 B 的单位特斯拉表示磁场。从而地磁场就有数量级为 50 微特斯拉 (mT) 的强度。用 50 代替 0.5，比用 0.5×79.6 ，在使用时要容易得多。几百奥斯特的交变磁场就变成几十毫特斯拉。

另外，有时还用质量磁化强度。因为有些岩石中气泡多，用一定体积比较其性质没有意义。

第二章 地球的磁场

根据在地面和地球周围对磁场所作的大量测定的结果，可以一级近似地认为，地球的磁场近似于一个均匀磁化球体的磁场，这个均匀磁化球体的磁场等效于放在地心的一个磁偶极子的磁场，磁偶极子的磁轴与地球旋转轴的夹角为 11.5° 。根据 1975 年资料所计算的地球磁矩 M 为 7.94×10^{25} CGS，其平均磁化强度约为 0.5 奥斯特（见图 1）

第一节 地磁要素

为了进行地球磁学的研究，我们取直角坐标系（见图 2）。其 x 轴为水平，并指向地理北； y 轴亦水平，指向正东； z 轴垂直向下。在此座标内，地磁强度矢量 T 可分解成三个分量，

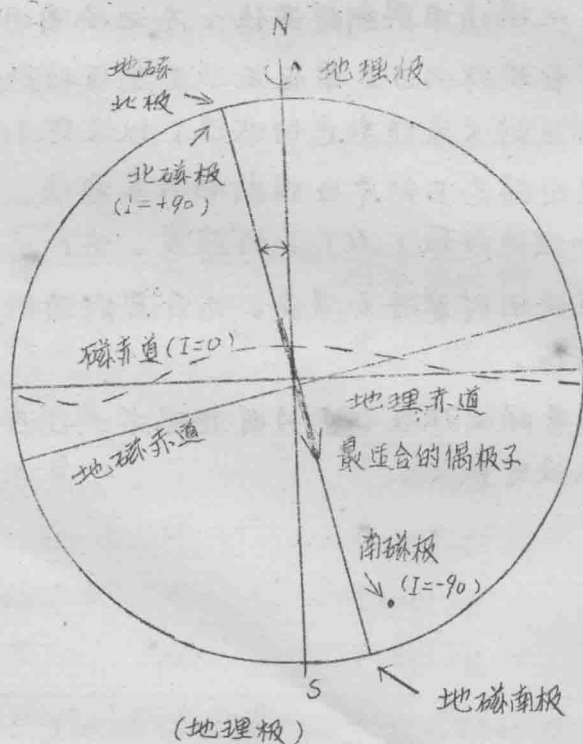


图 1

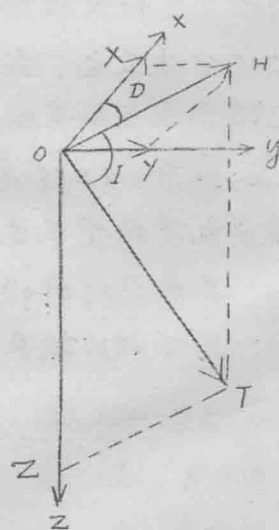


图 2
地磁要素