

地磁场与生物的磁效应

Geomagnetism and Biomagnetism

朱日祥/ZHU Ri-xiang, 潘永信/PAN Yong-xin, 邓成龙/DENG Cheng-long

中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

[摘要] 对地磁场研究历史及其发展趋势作了简要的论述, 提出地磁场强度是认识地球深部动力学过程的有效途径之一。同时, 对生物的磁效应, 特别是趋磁细菌的研究历史、现状及其在地球科学和生命科学中的潜在应用作了分析, 这对不同学科的交叉与渗透具有一定的促进作用。

[关键词] 地磁场; 生物磁效应; 趋磁细菌

[中图分类号] P541, Q64

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)08-0005-03

Abstract: The past, present and future developments of geomagnetism and biomagnetism are briefly reviewed. We further suggest that the investigation of geomagnetic paleointensity is a key approach to understand the processes of deep Earth's interior. Moreover, we specifically address recent developments on the research of magnetotactic bacteria and discuss potential future breakthroughs in magnetosome studies and its applications.

Key Words: geomagnetism; biomagnetism; magnetotactic bacteria

CLC Numbers: P541, Q64

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)08-0005-03

1 地磁场

地球是个富有生命力的星球, 它以各种各样的形式释放着内部的活力。地震波就如一盏明灯, 照亮了地球的内部。地磁场是地球本体最基本的物理场, 它的主要部分起源于地球外核流体的运动, 穿过 2 900 km 的地幔和地壳到达地表, 并扩展到太空。地磁场似乎很深奥, 感觉不到它与人类有什么关系。的确, 它不像空气和水对于人是那么习以为常。没有空气、水, 或者空气、水被污染了, 人们马上就有感觉。实际上, 地磁场也像空气一样, 人人都生活在其中。地磁场与空气的差别, 最显著之处是它不仅存在于地球表面及其周围, 而且存在于地球内部和遥远的太空。如同空气一样, 地磁场也随时间和空间的变化而变化, 只不过它的变化极其缓慢, 往往被人类忽视。古代中国人和希腊人最早知道天然磁石具有吸引力的性质。中国人将天然磁石称之为“慈石”(西方学者将其译为 loving stone); 古希腊哲学家 Thales(约公元前 6 世纪)将天然磁石的吸引力解释为万物有灵所致。据记载, 中国人于公元前 2 世纪发明了指南针, 并于公元 12 世纪传入欧洲。英国修士 St Albans 和 A Neckham 最先制造了仿制品。

尽管很多传说都认为指南针是通过航海经阿拉伯传入欧洲的, 但直到今天并没有发现指南针在 12 世纪之前在阿拉伯有任何记录^[1]。因此, 我们还不清楚指南针究竟是通过航海还是陆路传入欧洲的。早在公元 8 世纪, 中国唐朝天文学家僧一行首先认识到地球有磁场, 并测量了地磁偏角。欧洲人是在 15 世纪初发现地磁偏角, 但有文字记载的观测是哥伦布于 15 世纪末在通往西印度的航海中完成的。既然地磁场是客观存在, 并且随时间推移而变化, 而且地表的一切生物和植物都生活在地磁场环境中, 那么它必然会影响到地表生物和植物的演化过程。要想弄明白这一问题, 我们就必须了解地球为什么会有磁场。尽管今天现代科学发展迅速, 但人类对于自身以及我们生活的地球仍然有很多问题没有搞清楚。在这无数的未知领域中, 地磁场的由来及其对地表生物和植物的影响就是其中之一^[2]。

仅靠观测记录是无法认识具有 45 亿年历史的地球是何时产生地磁场的, 为了探索这一问题, 欧洲人在 19 世纪中叶就开始考虑如何从岩石的剩磁中获得它形成时地磁场的信息。德国人 David^[3]首先研究了火山熔岩流及其烘烤层的剩余磁性, 发现

了一些熔岩流的剩磁方向与地磁场方向相反, 但他认为, 可能是这些熔岩流中的磁性矿物具有自反向的性质。Brunhes^[4]从火山熔岩流的剩余磁性也发现了同样的现象, 但他认为, 熔岩流剩磁矢量与地磁场方向相反是由于地磁极性在地质历史时期曾发生过倒转。现代意义的古地磁学可以说是从 Mercanton^[5]提出地质时期地磁极与地球自转轴重合这一假设开始形成的。在随后的岁月里, 著名的英国学者 Runcorn^[6]对北美和欧洲大陆一些岩石剩余磁性的测定, 证明了大陆确实是漂移的, 这一工作标志着现代意义的古地磁学已经形成。

古地磁学为认识地磁起源和演化提供了新的研究途径, 地磁极性倒转的发现则是本世纪地球科学的重大事件之一, 在一定程度上改变了我们对地球形成和演化过程的认识^[7]。另一方面, 地磁极性倒转又是具有挑战的研究领域, 因为直到今天, 地球科学家对这一重要的自然现象发生的机理仍缺乏清楚的认识。究其原因, 主要是由于地磁场有几十亿年的演化过程, 但直接观测记录只有几百年; 地磁场起源于距地表 2 900~5 400 km 的地球外核流体的运动, 这是人类无法直接进入的区域。地磁场的

收稿日期: 2006-06-10

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZCX-3-SW-150), 国家自然科学基金杰出青年基金项目(40325011), 国家自然科学基金创新研究群体项目(40221402)

作者简介: 朱日祥, 男, 北京市朝阳区北土城西路 19 号中国科学院地质与地球物理研究所研究员、中国科学院院士, 主要从事地磁场与地球深部动力学研究; E-mail: rxzhu@mail.igcas.ac.cn

变化主要受控于外核富铁流体运动、核幔相互作用和下地幔结构的变化。根据地震学和地磁学的研究表明,下地幔下部结构对于地磁极性倒转以及倒转频率变化具有不容忽视的影响。下地幔底部D层可能影响地磁极性转换过程以及极性稳定期间地磁场在地表的变化特征,D层内温度场变化也会直接影响到地核对地幔的热传输量。如何利用地磁场变化来揭示过去地球内部发生的这些物理化学过程,是近年来地球动力学研究领域关注的热点之一。白垩纪超静磁带期间(120.6~83 Ma)核幔边界能量状态、地幔柱活动与同期岩石圈重大地质事件的关联性,是地球动力学十分关注的热点,也是探索地磁极性倒转机制和地磁场古强度与深部动力学的关键。

地磁极性倒转频率与地磁场强度变化是否相关,这与地球内部动力学过程直接相关。从地磁场方向变化的角度来看,地球内部可能存在2种动力学状态:地磁极性频繁倒转;地磁极性在数千万年保持不变^[8-9]。从165 Ma到白垩纪超静磁带开始(120.6 Ma)的4500万年之间,从统计意义来说,地磁场强度随时间推移而增加。在这期间,地磁极性倒转频率随时间推移而降低。就这一时间范围来说,地磁场强度与地磁极性倒转频率的变化呈负相关。我们认为,这可能是由于150 Ma左右俯冲到660 km间断面的冷物质聚积,使原来的上下地幔分层对流状态被破坏,出现了全地幔对流。由于全地幔对流的发生,使得聚积在660 km间断面的冷物质被带到核幔界面,从而导致了地磁场强度的逐渐增加和地磁极性倒转频率的逐渐降低,以及白垩纪超静磁带的发生。随着660 km间断面冷物质的不断下沉,地幔又逐渐恢复了分层对流的状态。同时,下沉到核幔界面的冷物质也与下地幔的物质达到了平衡。这时,白垩纪超静磁带也就结束了。Prévot等^[10]还注意到,真极移大约在110 Ma左右异常显著,这与Tarduno等^[11]报道的白垩纪超静磁带期间地磁场强度异常增高的时间是一致的。

综上所述,我们认为660 km间断面的冷物质从150 Ma开始不断下沉到核幔界面,导致地球外核流体运动趋于平静状态和地磁倒转频率的下降;与此相反,地磁场强度则逐渐增加,并在110 Ma左右达到极大值。据此,下地幔下部温度高低与穿透660 km间断面到达核幔界面物质质量的多少成反比,同时与地磁场强度存在负相关性。值得注意的是,随着660 km间断面冷物质的下沉而出现的全地幔对流,使得下地幔的热物质被带到上地幔,甚至到岩石圈和地表,从而导致了中白垩世一系列全球性地质事件的发生,诸如洋壳的快速扩张、海底高原和火成岩省的形成,以及海平面的显著上升等。如果我们的解释是正确的话,这些火成岩省就应该起源于660

km间断面或上地幔内部,而不是来自核幔界面。最近,一些地球动力学研究结果也表明^[12-15],如果有冷物质穿过660 km间断面的话,地表就会观测到广泛分布的岩岩,甚至大火成岩省。这一结果也应该也适应于地幔柱的形成与演化,值得我们进一步深入研究。

2 生物的磁效应

地磁场的变化能够影响部分生物的行为,进而可能对生物圈的演化产生影响。人们已在细菌、昆虫、软体动物、鱼类、鸟类和人体中发现磁铁矿颗粒^[2]。这种生物体内磁性矿物被认为是生物利用地磁场的“磁接收器”载体,许多候鸟、鱼类和海龟等动物能够利用地磁场定向导航,进行上千km的长距离迁徙^[16-19],趋磁细菌能够在地磁场中定向和游移。趋磁细菌磁小体的形成和磁学性质研究,不仅有助于揭示生物矿化作用过程、探讨生物感应地磁场变化的机理,也是古地磁学和环境磁学的重要研究内容,特别是关于深入认识沉积物中细粒磁性矿物的来源和准确解译过去的环境变化。此外,细菌成因磁铁矿在现代生物和医学应用方面也展现出非凡的魅力。因此,20世纪90年代以来,趋磁细菌磁小体的研究已受到诸多学科的广泛关注。

许多生物都可以产生矿物沉淀作用,即生物矿化作用。可以将生物矿化分为“生物诱导矿化作用(BIM)”和“生物控制矿化作用(BCM或BOB)”2种。生物控制矿化作用与生物细胞的新陈代谢和基因控制密切相关。趋磁细菌是BCM型生物的典型代表,所生成的磁性矿物,粒度细小而均一、结晶程度高、晶形特殊和呈链状排列。无疑,对趋磁细菌BCM矿化作用的研究对于揭示高级生物体内磁铁矿的形成作用机理具有重要的参考价值^[19-20]。Blakemore^[21]首先在美国东海岸的海洋盐沼沉积物中发现了沿地磁场方向游动的细菌Magnetospirillum magnetotacticum。人们把所有具趋磁性行为的细菌统称为趋磁细菌(magnetotactic bacteria)。由于趋磁细菌在地球和生命科学领域中具有重要的基础理论和潜在的应用价值,近年来在实验室趋磁细菌培养、磁小体的分离技术、分子生物学、岩石磁学和环境磁学研究方面有了较大进展,因而对磁小体形成机理、沉积物中细菌磁铁矿识别和环境指示意义等均获得了许多重要的新认识。同时,趋磁细菌磁小体研究也促进了微生物学、生物化学、生物地磁学和环境磁学等多学科交叉的迅速发展。

趋磁细菌磁小体的形成一直是人们非常关注的问题之一。磁小体磁铁矿的特征表明,趋磁细菌对磁小体膜内磁铁矿颗粒的成分、晶形、粒度、排列等实施了非常严格的控制。生成的磁小体链,除能够帮助趋磁细菌借助于地磁场定向游弋外,还可以帮助趋磁细菌调节体内铁平衡、实现能量

储备和氧化还原循环等功能、降低细胞内过高铁浓度毒化水平^[22-23]。磁小体膜的作用包括:控制铁富集、矿物成核,调节膜内外氧化还原和pH条件,以及固定磁铁矿颗粒。越来越多的实验研究表明,磁小体膜可能先于无机磁铁矿颗粒形成。

自然界沉积物中的磁性矿物主要来源有下列3种:母岩风化作用产生的碎屑磁性矿物;盆地中原地化学沉淀作用或改造已有矿物;由生物控制或诱导生成的新矿物。趋磁细菌死亡后,其中部分磁小体将在沉积物中保存下来,称为化石磁小体(magnetofossil),它们对沉积物的磁性会产生重要影响。化石磁小体为单畴颗粒,磁性强而稳定^[24],是沉积物剩磁和环境磁学记录的重要载体。研究表明,化石磁小体是部分石灰岩、湖泊沉积物、海洋沉积物天然剩磁的主要载体。Snowball等^[25]对瑞典湖泊全新世沉积物研究发现,细菌成因磁铁矿含量与有机碳含量成正比,因而可以作为古环境变化的生物指示标志。

生物的磁效应,特别是趋磁细菌磁小体研究将在地球和生命科学研究领域得到广泛的应用。随着生物化学和生物技术的发展,将实现更多趋磁细菌种属的人工培养,为磁小体生物矿化研究提供更多的新材料。磁小体的分子生物学研究刚刚开始,就显现出强大的生命力,并取得了一系列成果。不久可望从功能蛋白和基因水平全面认识趋磁细菌磁小体矿化和磁小体膜的形成过程和作用,为分析生物体内矿化作用机制、探讨地磁场对生命演化的影响提供重要的基础数据。

分离的磁小体颗粒具有许多优于无机磁铁矿的特点,如独特磁性质、具有有机膜(降低颗粒相互作用力)而易于扩散、纳米级粒度和成分纯度高,可为生物RNA识别、DNA分离技术与探测、医学核磁共振成像技术等提供全新的磁性载体。此外,值得指出的是,磁性铁蛋白(magnetoferritin)研究也越来越受到人们的重视,并显示出重要的潜在应用价值^[26]。与生物学的紧密结合,将成为21世纪自然科学发展的重要趋势之一。

参考文献 (References)

- [1] NEEDHAM J. Science and Civilization in China [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1962.
- [2] 潘永信, 邓成龙, 刘青松, 等. 趋磁细菌磁小体的生物矿化作用和磁学性质研究进展 [J]. 科学通报, 2004, 49(24): 2505-2510.
- [3] DAVID P. Sur la stabilité de la direction d'aimantation dans quelques roches volcaniques [J]. C R Acad Sci Paris, 1904, 138: 41-42.
- [4] BRUNHES B. Recherches sur le direction d'aimantation des roches volcaniques [J]. J Phys, 1906, 5: 705-724.
- [5] MERCANTON P L. Inversion de

- l'inclinaison magnetique terrestre aux ages geologiques [J]. Terr Magn Atmosph Elec, 1926, 31: 187- 190.
- [6] RUNCORN S K. Palaeomagnetic comparisons between North America and Europe [J]. Proc Geol Assoc Canada, 1956, (8): 77- 85.
- [7] 朱日祥, 邓成龙, 潘永信. 地球磁场变化与地球内部动力学过程[M]/ 朱耀仲, 孙和平主编. 大地测量与地球动力学进展. 武汉: 湖北科学技术出版社. 2004: 45- 52.
- [8] ZHU RX, Lo C- H, Shi RP, et al. Paleointensities determined from the middle Cretaceous basalt in Liaoning province, northeastern China [J]. Phys Earth Planet Inter, 2004, 142: 49- 59.
- [9] OPDYKE N D, CHANNELL JET. Magnetic stratigraphy [M]. San Diego: Academic Press, 1996.
- [10] PRÄOT M, MATTERN E, CAMPS P, et al. Evidence for 20 tilting of the Earth's rotation axis 110 million years ago [J]. Earth Planet Sci Lett, 2000, 179: 517- 528.
- [11] TARDUNO J A, COTTRELL R D, SMIRNOV A V. High geomagnetic intensity during the Mid - Cretaceous from Thellier analyses of single plagioclase crystals [J]. Science, 2001, 291: 1779- 1783.
- [12] ANDERSON D L. The scales of mantle convection [J]. Tectonophysics, 1998, 284: 1- 17.
- [13] SHETH H C. Flood basalts and large igneous provinces from deep mantle plumes: fact, fiction, and fallacy [J]. Tectonophysics, 1999, 311: 1- 29.
- [14] SMITH A D, LEWIS C. The planet beyond the plume hypothesis [J]. Earth Sci Rev, 1999, 48: 135- 82.
- [15] LARSON R L, KINCAID C. Onset of mid-Cretaceous volcanism by elevation of the 670 km thermal boundary layer [J]. Geology, 1996, 24: 551- 554.
- [16] LOHMANN K J, CAIN S D, DODGE S A, et al. Regional magnetic fields as navigational markers for sea turtles [J]. Science, 2001, 294: 364- 366.
- [17] WALKER M M, DENNIS T E, KIRSCHVINK J L. The magnetic sense and its use in long- distance navigation by animals[J]. Curr Opin Neurobiol, 2002 (12): 735- 744.
- [18] WILTSCHKO W, MUNRO U, WILTSCHKO R, et al. Magnetite - based magnetoreception in birds: The effect of a biasing field and a pulse on migratory behavior [J]. J Exp Biol, 2002, 205: 3031- 3037.
- [19] MOSKOWITZ BM, FRANKEL RB, BAZYLINSKI DA. Rock magnetic criteria for the detection of biogenic magnetite [J]. Earth Planet Sci Lett, 1993, 120: 283- 300.
- [20] LOWENSTAM H A, WEINER S. On Biomineralization[M]. New York: Oxford University Press, 1989.
- [21] BLAKEMORE R. Magnetotactic bacteria [J]. Science, 1975, 190: 377- 379.
- [22] ANDREWS S C, ROBINSON A K, RODRIGUEZ - QUINONES F. Bacterial iron homeostasis [J]. FEMS Microbiol Rev, 2003, 27: 215- 237.
- [23] SCHÜLER D. Molecular analysis of a subcellular compartment: The magnetosome membrane in *Magnetospirillum gryphiswaldense* [J]. Arch Microbio, 2004, 181: 1- 7.
- [24] FRANKEL R B, BAZYLINSKI D A, SCHÜLER D. Biomineralization of magnetic iron minerals in bacteria[J]. Supramolecular Science, 1998, 5: 383- 390.
- [25] SNOWBALL I, ZILLÉN L, SANDGREN P. Bacterial magnetite in Swedish varved lake- sediments: A potential bio- marker of environmental change [J]. Quat Int, 2002, 88: 13- 19.
- [26] YAMAZAKI G, URAOKA Y, FUYUKI T, et al. Nano - etching using nanodots mask fabricated by bio - nano - process [J]. J Photopoly Sci Techno, 2003, 16: 439- 444.

(责任编辑 肖庆山)

· 图片科技新闻 ·

我国科学家研制出蛋白质芯片生物传感器系统

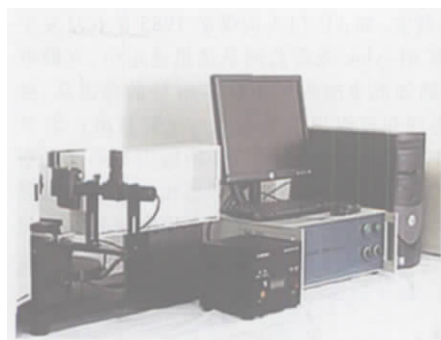
在中国科学院知识创新工程和国家自然科学基金的资助下,中科院力学所国家微重力实验室新刚课题组经过多年努力,成功研制出“蛋白质芯片生物传感器系统”及其实用化样机,并于7月5日通过成果鉴定。

该研究将多种蛋白质活性微阵列、生物分子特异结合性,与高分辨率椭圆偏光成像技术相结合,提供了一种新型无标记蛋白质分析技术。蛋白质芯片生物传感器系统的特点在于,它使用单一非标记试剂检测靶分子,能够更好地保持生物分子的活性,减少非特异信号的影响,提高蛋白质分子相互作用检测的灵敏度,实时、直观地显示检测结果,并具有鉴别伪信号的功能。它在一微流道蛋白质芯片反应器系统内实现了蛋白质溶液运输、蛋白质芯片的制备和蛋白质相互作用,具有48个独立单元,可实现对多样本、多指标进行同时检测,有效降低检测时间和样品消耗。此外,使用该系统进行蛋白质样品的检测时,除试剂外,几乎没有芯片制作成本。

以乙肝五项指标的检测为例,采用目前临床酶联免疫逐项检测方法,至少需要1天才能得到结果,而蛋白质芯片检测系统只需40 min,大大提高了检测效率;传统检测方法至少需要几ml血液,而新系统采用了微流道蛋白质芯片反应器,实现了高灵敏度光学无接触、无扰动、无标记物的多元分子检测技术,只需要几十μl血液即可得到检测结果,显著降低了样品的消耗。

由于高通量的优势,该装置可应用于蛋白质和蛋白质谱的检测、疾病标志物的识别和药物筛选等领域。目前,该装置已成功实现了乙肝五项指标同时检测、肿瘤标志物检测、微量抗原抗体检测、SARS抗体药物鉴定、病毒检测及急性心肌梗塞诊断标志物检测等多项应用实验,显示出在生物医学领域的广泛应用前景。

鉴定委员会专家一致认为,该蛋白质芯片生物传感器系统自动化程度高、系统集成性强,达到国际先进水平。(本刊记者 胡春华)



蛋白质芯片生物传感器系统



蛋白质芯片生物传感器系统鉴定会现场



蛋白质芯片检测系统及检测结果