



PGL

Letters

第4期 (总第十八期)



癸巳大吉

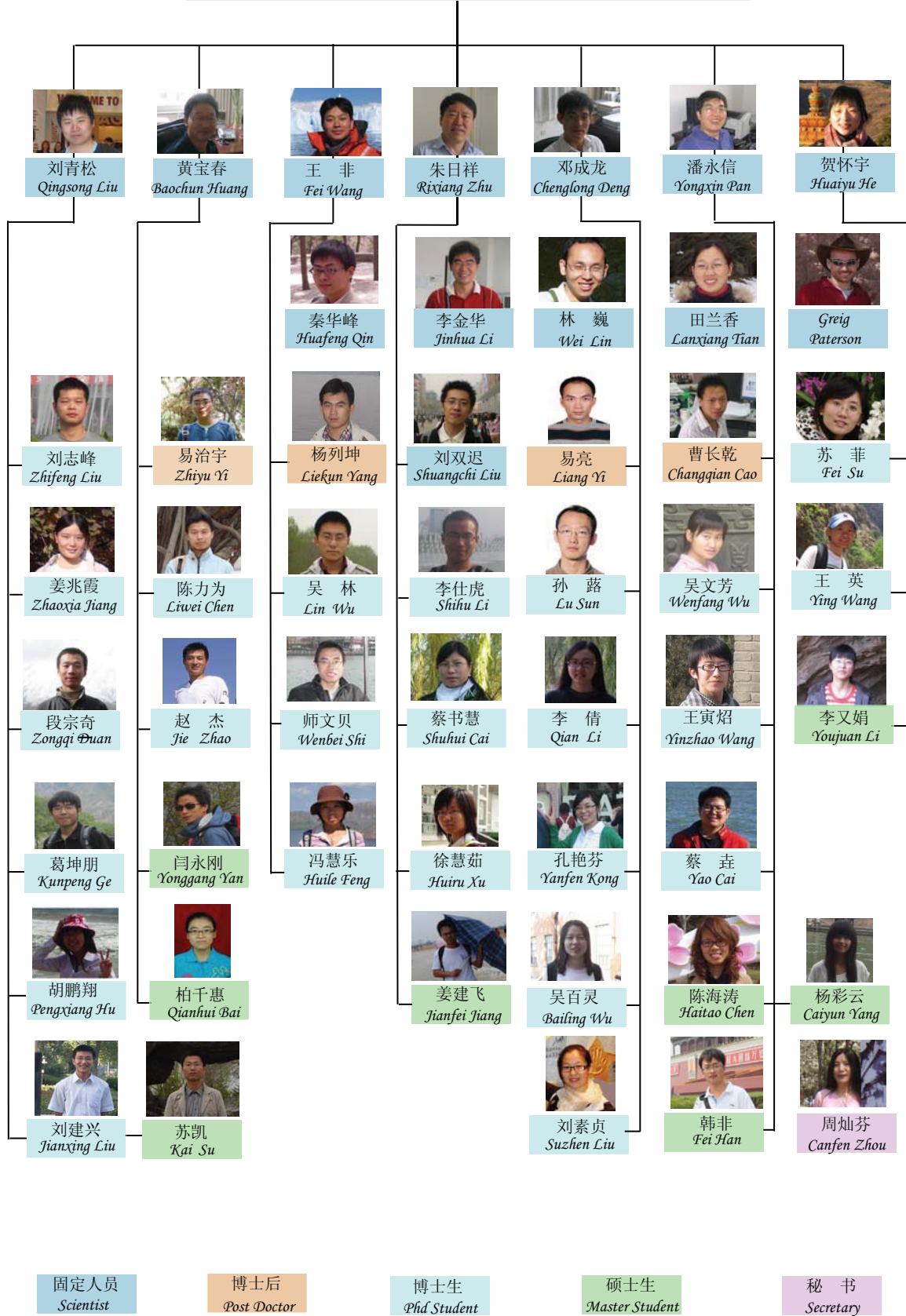
冬天已经来了
春天一定不会远
在务实求真的道路上
请不要忘记仰望星空

From: 徐慧茹

2012

Paleomagnetism and Geochronology Laboratory in Beijing

古地磁与年代学实验室 Paleomagnetism and Geochronology Laboratory in Beijing



古地磁与年代学实验室科研人员结构图

期刊首语

世界末日后，新年就要到来了！

皓首穷经后一定是豁然开朗，山重水复后一定是柳暗花明，接着就是条条大路通罗马了。科研如人生，人生如科研，总会有绝处的逆境和逢生的转机，所以两者也因此魅力无穷。科研就是解析混沌的东西，提取纯粹的东西。所以做科研，就是要纯粹，人生亦应如此。

生物矿化的特性研究一直是 PGL 的研究特色，也是世界生物磁学领域的研究前沿之一。本期专题介绍将以趋磁细菌为例，对生物矿化的本质机理进行深入浅出的介绍。

如今城市污染愈发严重，环境保护变得日益重要。而我们磁学工作者对环境保护究竟怎样才能尽绵薄之力，究竟能做出什么样的贡献呢？本期重点连载将为大家详细讲解环境磁学在城市污染中的具体应用。

如果您对月球磁学研究的最新进展，浅层纳米磁铁矿的生成机制，南极陆缘年代框架以及国外构造磁学、岩石磁学、环境磁学和生物磁学的一些最新

进展感兴趣的话，本期的文献导读您一定不能错过。

现实社会是一个压力山大的社会，而现实的压力都来自哪些方面呢？又该如何应对压力呢？本期文化动态之《谈压力》将试图给出一个解答。过去的一年，中国的古地磁学界都有哪些进展，实验室都又有哪些变化？本期文化动态之《新闻篇》将会让您耳目一新。癸巳蛇年即将到来，大家对旧的一年有什么样的感叹，对新的一年又有什么样的期待呢？《新年感言》将向您展示老师和学生们多彩的人生感悟和新年寄望。

在此，PGL 杂志社全体成员恭祝大家新年快乐！

该刊物宗旨：大家刊物大家办，办好刊物为大家！

该刊物的定位：融知识性与趣味性为一体，在拓宽知识面的同时，加强研究深度探讨。

征稿方式：该刊物将由我们实验室所有人员参与创作，同时欢迎同行业人员投稿。

发行对象：向本实验室内部人员，及国内外古地磁界的同行（参考资料）。

发行方式：电子版本（彩色）和纸质版本（黑白）。

栏目设置：详见本刊最后页。

PGL Letters

第四期

2012年12月

目 录

人物介绍

林巍.....1

专题介绍

浅析生物控制矿化机理——以趋磁细菌为例.....1

重点连载

环境磁学在城市污染研究中的主要应用.....6

文献导读

大块阿波罗样品的磁学研究：月球古偶极磁场的可能证据.....12

浅层埋藏过程中纳米级磁铁矿的持续生成.....13

南极威尔克斯陆缘年代地层框架初探.....14

意大利 Belluno盆地古新世磁性——生物地层学与受气候控制的岩石磁学研究.....17

巴西中部Aeaguainha复杂冲击结构的磁组构：对于变形机制及中央隆起形成的指示.....18

玄武安山质岩墙的双极性方向——反转记录或自反磁化.....20

古新世——始新世极热事件期间趋磁细菌对南极尘土相应的研究.....21

变质岩中的磁性矿物及其古地磁研究.....23

文化动态

谈压力.....26

地球物理年会会讯.....29

实验室新闻.....30

新年感言.....31

人物介绍



林巍，中国科学院地质与地球物理研究所副研究员。

1983 年出生，新疆塔城人。2004 年毕业于新疆大学生命科学与技术学院，获生物科学学士学位；2010 年毕业于中国科学院地质与地球物理研究所，获地球生物学博士学位；2010-2012 年在中国科学院地质与地球物理研究所从事博士后研究；2013 年晋升副研究员。曾受“中国科学院-德国马普学会联合培养博士生项目”资助，于 2007-2008 年在德国慕尼黑大学微生物系学习交流；受美国“NASA 行星生物学项目”资助，于 2011 年在美国南加州大学地球科学系进行交流访问。曾获“中国科学院院长优秀奖”（2009 年）、“中国科学院优秀博士学位论文”（2011 年）和“Springer-CAS 优秀博士论文”（2012 年）等奖项。

主要从事地质微生物学、微生物地理学、生物地磁学和生物矿化等综合研究。以矿化微生物趋磁细菌为主要研究对象，在微生物多样性、微生物地

理分布格局和微生物矿化机制等方面开展了较系统的研究。已发表 SCI 论文 20 篇，已主持中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿项目和国家自然科学基金委青年科学基金项目各一项。

专题介绍

浅析生物控制矿化机理——以趋磁细菌为例

林巍

20 世纪末期发展起来的地质微生物学 (Geomicrobiology) 是地球科学与生命科学跨学科交叉而产生的新的研究领域，主要研究微生物及其代谢过程与地质和地球化学过程的相互作用 (陈骏和姚素平, 2005; Baskar and Baskar, 2009). 其中微生物参与矿物形成的研究，即微生物矿化，是当前国际上最为活跃的前沿科学研究之一 (崔福斋等, 2007; 鲁安怀, 2007). 微生物矿化在自然界普遍存在，根据生物对矿物形成调控机制的不同，微生物矿化可以分为生物诱导矿化 (BIM) 和生物控制矿化 (BCM) (Lowenstam, 1981; Pan et al., 2004). 在生物诱导矿化过程中，微生物通过自身的代谢活动改变周围微环境的理化条件，导致无机矿物在体表或体外形成，整个矿化过程不受微生物的直接调控，因此生成矿物的晶型较差、粒度分布较宽 (Lovley et al., 1987). 生物控制矿化过程则受到生物严格的生理和基因调控，所生成矿物的尺寸均一、晶型独特且化学纯度高，并在生物体内有序排列，生物控制形成的矿物往往在生物的生理活动和进化中扮演着重要角色 (Bazylinski and Moskowitz, 1997; Bazylinski and Frankel, 2003). 微生物矿化在地球科学、特别是岩石圈演化过程中矿物的形成和转化、元素的富集和循环，以及矿床的形成等方面都具有重要的作用 (Pan et al., 2004; Konhauser et al., 2008).

趋磁细菌 (magnetotactic bacteria, MTB) 是微生物控制矿化的典型代表, 由意大利学者 Salvatore Bellini 于 1963 年首次发现 (Bellini, 2009b, a). 但当时 Bellini 将他的发现以意大利文的形式发表在其研究单位的内部刊物上, 所以并未引起人们的关注. 直到 12 年后, 美国科学家 Richard Blakemore 在研究富硫化物沉积物中的微生物群落时意外发现了趋磁细菌, 并将相关的成果发表在美国《科学》杂志上, 这才引起了世界各国科学家的重视并揭开了趋磁细菌研究的序幕 (Blakemore, 1975). 趋磁细菌是一类能够沿磁场方向定向运动的微生物总称, 它们的显著特征是在体内控制矿化形成纳米级、链状排列、由生物膜包裹的磁铁矿或胶黄铁矿磁小体. 早期人们普遍认为有生物膜包裹的细胞器仅出现在真核生物体内, 但是越来越多的研究表明类似的细胞器也存在于一些原核生物细胞内 (Shively, 2006). 目前趋磁细菌的磁小体链已经被认为是一类典型的原核生物细胞器.

磁小体是由趋磁细菌矿化合成的形状规则、外形均一的纳米级磁性颗粒, 磁小体的矿化过程受到严格的生物调控. 这些磁小体是如何矿化而成的? 这涉及到生物控制矿化的机理. 近年来, 随着微生物学、分子生物学、生物化学和基因组学研究水平的快速提升, 趋磁细菌遗传操作技术已逐步建立, 对可培养趋磁细菌, 尤其是磁螺菌属 (*Magnetospirillum*) 趋磁细菌 *M. gryphiswaldense* MSR-1、*M. magnetotacticum* strain AMB-1 和 *M. magnetotacticum* strain MS-1 的磁铁矿磁小体生物矿化机理方面已取得了许多重要进展 (Jogler and Schüler, 2009).

在趋磁细菌 *M. gryphiswaldense* MSR-1 中, 大多数与磁小体合成相关的基因 (称为磁小体基因, 它们翻译成的蛋白质也相应地称为磁小体蛋白质) 都位于一个 130 kb 左右的基因片断中, 称为磁小体

岛 (magnetosome island, MAI) (Ullrich et al., 2005). 磁小体岛结构已陆续在其他趋磁细菌中被发现 (图 1) (Schüler, 2008; Jogler et al., 2009; Jogler and Schüler, 2009; Nakazawa et al., 2009; Schübbe et al., 2009). 根据目前的研究结果, 大多数磁小体基因均位于操纵子 *mamAB*、*manGFDC*、*mamXY* 和 *mms6* 中. 在趋磁细菌 *M. gryphiswaldense* MSR-1 基因组中, 操纵子 *mamAB* 长 16.4 kb, 由 17 个基因组成; 操纵子 *manGFDC* 由 4 个基因组成, 长 2.1 kb, 它们位于操纵子 *mamAB* 的上游, 相距约 15 kb; 操纵子 *mms6* 长 3.6 kb 左右, 包含 5 个基因, 与操纵子 *manGFDC* 相距 368 bp; 操纵子 *mamXY* 包含 4 个基因, 位于操纵子 *mamAB* 下游约 30 kb 处 (图 1).

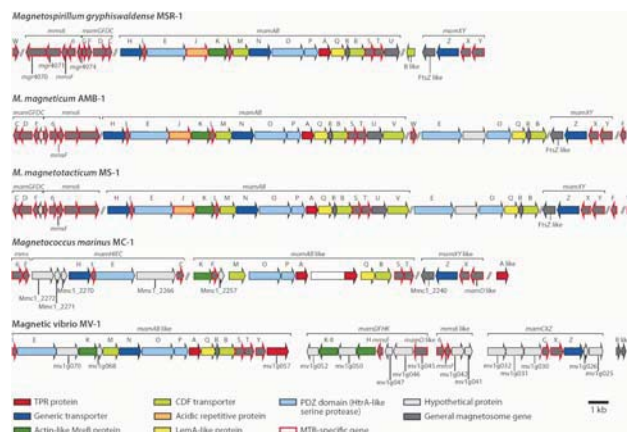


图 1 已发表趋磁细菌 *M. gryphiswaldense* MSR-1、*M. magnetotacticum* strain AMB-1、*M. magnetotacticum* strain MS-1、*Magnetococcus marinus* MC-1 和 magnetic vibrio MV-1 的磁小体岛基因示意图 (Jogler and Schüler, 2009). 该图中未包括新近完成全基因组测序的趋磁细菌 *D. magneticus* strain RS-1 的磁小体岛基因, 该序列信息详见文献 (Nakazawa et al., 2009)

趋磁细菌磁铁矿磁小体的矿化过程大致可分为以下六个阶段 (Bazylinski and Frankel, 2004; Murat et al., 2010): (1) 细菌从外界环境中吸收铁离子, (2) 磁小体膜的形成, (3) 磁小体蛋白质定位到磁小体膜上, (4) 磁小体膜链状排列, (5) 细菌中的铁离子进入磁小体膜中, (6) 磁铁矿晶体的合成.

1 铁离子的吸收过程

铁是细菌生长所必需的无机离子, 细菌体内的

许多蛋白质, 如细胞色素、过氧化物酶、过氧化氢酶、超氧化物歧化酶和固氮酶等都含有铁. 在趋磁细菌中, 铁除了参与合成多种蛋白质外, 还是组成磁小体的主要成分. 趋磁细菌细胞中铁的含量很高, 可达到或超过细胞干重的 2%, 比大肠杆菌的含铁量 (0.005-0.022%) 高出 100 多倍 (Blakemore et al., 1979). 由于需要大量的铁, 趋磁细菌拥有高效的铁吸收系统, 便于从外界环境中吸收足量的铁以保障自身生存和生长的需要. 在自然界中, 铁大多以三价铁 Fe(III) 的形成存在, 但是 Fe(III) 在有氧环境和中性 pH 条件下不能溶于水, 所以细胞不能直接吸收. 自然界中许多细菌能产生低分子量、与 Fe(III) 特异结合的螯合物——铁载体 (siderophore), 铁载体与 Fe(III) 有很高的亲和性, 它能够帮助 Fe(III) 的吸收 (Köster, 2001).

Nakamura 等在趋磁细菌 *M. magnetotacticum* strain AMB-1 的细胞膜上发现的一种蛋白质——SfuC 可能参与铁离子的吸收 (Nakamura et al., 1993). 然而他们在铁富集和铁缺乏环境下均未检测到铁载体的产生. Dubbels 等在研究海洋趋磁弧菌 magnetic vibrio MV-1 时发现, 一类属于三维铁离子吸收系统的蛋白质 ChpA 可能在将 Fe(III) 从胞外穿过细胞膜转移到细胞内部的过程中发挥重要作用 (Dubbels et al., 2004). 与编码 ChpA 蛋白质同源的基因也存在于 *M. magnetotacticum* strain MS-1、*M. gryphiswaldense* MSR-1 和 *M. magnetotacticum* strain AMB-1 的基因组中, 表明这些蛋白质在趋磁螺旋菌铁离子吸收过程中可能发挥作用 (Schüler, 2008).

2 磁小体膜的形成

磁小体膜为铁矿晶体的形成和生长提供了适宜的微环境, 因此在磁小体的形成中起着关键的、不可替代的作用. Gorby 等在 *M. magnetotacticum* strain MS-1 中直接观察到了空的磁小体膜, 首次证实磁小体膜先于磁体矿晶体形成 (Gorby et al.,

1988). 由于磁小体膜的存在, 在磁小体膜内部形成了特定的氧化还原电势和 pH 值. 此外, 磁小体膜结构还能严格、精确地控制其内部的铁离子浓度, 从而保证磁小体晶体的生成.

3 磁小体蛋白质定位到磁小体膜上

Murat 等 (Murat et al., 2010) 最近的研究表明在趋磁细菌 *M. magnetotacticum* strain AMB-1 中, 空的磁小体膜首先形成, 而后与磁小体晶体合成相关的蛋白质才定位到磁小体膜上. 在磁小体蛋白质定位到磁小体膜的过程中, 蛋白质 MamE 发挥重要的作用. 在 *mamE* 基因缺失的菌株中, 一些磁小体膜蛋白质 (如 MamA 和 MamJ) 错误地分布在细胞内的其他位置, 而不是定位在磁小体膜上. 因此 Murat 等推测, 丝氨酸蛋白酶 MamE 帮助磁小体蛋白质正确定位在磁小体膜上, 但是不能排除这类蛋白质在铁矿晶体的形成中也发挥一定的作用.

4 磁小体膜链状排列

链状排列能够有效增加趋磁细菌磁小体的总磁矩, 进而能够增强细菌感受外界磁场的的能力. 但是链状结构并不是磁小体排列的最小能量状态, 由于磁性颗粒间的静磁相互作用, 磁小体总是趋向于聚集成团以减少静磁能并达到稳定状态. 因此, 同磁小体矿化一样, 磁小体的排列也必然受严格的生物学控制以保持链状结构. 研究发现, 趋磁螺旋菌 *M. gryphiswaldense* MSR-1 和 *M. magnetotacticum* strain AMB-1 体内具有由 MamK 蛋白质组成的丝状细胞骨架结构 (cytoskeletal magnetosome filament), 宽 3-4 nm (Komeili et al., 2006; Komeili, 2007). MamK 与细胞骨架肌动蛋白质 MreB 同源, 后者在决定细胞形状、建立细胞极性和染色体分离过程中起关键作用. 因此推测 MamK 在磁小体链状排列中发挥着重要作用. 随后的基因敲除实验证实 MamK 缺失时丝状细胞骨架结构消失, 而磁小体也因链状结构被破坏而在细胞内散乱排列 (Komeili et al., 2006).

在 *M. gryphiswaldense* MSR-1 中另一种蛋白质

MamJ 在磁小体排列中也发挥关键作用。mamJ 基因紧靠 mamK 基因上游，其蛋白质序列含有一个中央酸性重复域 (CAR)。mamJ 缺失突变菌株中磁小体失去链状结构并聚集成团。通过偶联绿色荧光蛋白 (GFP) 观察发现 MamJ 与丝状细胞骨架相互作用，磁小体膜通过 MamJ 蛋白与丝状细胞骨架连接而成链状结构 (Komeili et al., 2006; Scheffel et al., 2006; Komeili, 2007; Schüler, 2008)。有趣的是，目前 MamK 在已培养趋磁细菌中均有发现，而 MamJ 只在磁螺菌属中发现 (图 1)，这暗示不同种类趋磁细菌体内磁小体的成链机制可能不同。

5 参与铁离子运输的蛋白质

Grünberg 等发现在 *M. gryphiswaldense* MSR-1 的磁小体膜上都存在蛋白质 MamB 和 MamM (Grünberg et al., 2001; Grünberg et al., 2004)。它们的一级和二级结构都与促阳离子扩散家族 (CDF) 的成员有很高的相似性，因此推测 MamB 和 MamM 与 CDF 执行相似的功能。CDF 在原核生物和真核生物中都存在，它们能够促进金属离子的吸收或释放，行使“金属/H⁺逆向转运体”的功能。进一步分析发现，MamB 和 MamM 与 CDF 中的 CDF3 亚家族成员的相似性最高，这些蛋白质成员主要帮助细胞内铁离子的运输。因此磁小体膜蛋白 MamB 和 MamM 也可能帮助铁离子进入磁小体膜内。最近对 *M. gryphiswaldense* MSR-1 突变菌株的实验已证明了这个观点 (Junge, 2008)。

6 磁铁矿的合成

Arakaki 等在细菌 *M. magnetotacticum* strain AMB-1 的磁小体膜上发现了一些与膜紧密相连的低分子量的蛋白质 (小于 15 kD)，包括 Mms5、Mms6、Mms7 和 Mms13。这些蛋白质都含有疏水性的氨基末端和亲水性的羧基末端，羧基末端上的羧基和羟基能够结合铁离子。其中 Mms6 在磁性颗粒成核中起着重要作用，在人工合成磁铁矿时，当有 Mms6 参与时，形成的磁铁矿形状均一、大小介于 20

nm 至 30 nm 之间，与细菌 *M. magnetotacticum* strain AMB-1 产生的磁小体很相似；当 Mms6 不参与合成时，生成的磁性颗粒形状和大小差异很大 (1-100 nm)，主要成分也不是磁铁矿 (Arakaki et al., 2003)。目前认为，蛋白质 Mms6 即能结合铁离子、促进晶体成核，又能抑制铁的矿化、调节晶体的形状，但是具体过程和调节机制目前还不清楚 (Arakaki et al., 2003; Prozorov et al., 2007)。其余三种 Mms 蛋白质的功能与 Mms6 相似，都可能参与磁小体的形成。

7 趋磁细菌磁小体矿化模型

根据上述的研究结果，Murat 等 (Murat et al., 2010) 建立了趋磁细菌 *M. magnetotacticum* strain AMB-1 磁小体的最新矿化模型 (图 2)。他们认为空的磁小体膜在蛋白质 MamI、MamL、MamQ 和 MamB 的作用下由细胞膜内陷收缩形成；接着，与磁小体颗粒合成相关的蛋白质在 MamE 的帮助下正确定位到磁小体膜上；磁小体膜通过蛋白质 MamJ 与蛋白质 MamK 形成的丝状细胞骨架连接而排列成链状结构；随后细胞内的铁离子在蛋白质 MamM、MamN 和 MamO 的帮助下进入磁小体膜中并逐渐成核形成磁铁矿晶体；最后磁铁矿晶体在一系列控制尺寸和形状的蛋白质的调控下逐渐生长成为成熟的磁小体。总之，趋磁细菌磁小体的矿化是一个受基因、蛋白质和细胞精确调控的复杂过程，对于磁小体矿化的精确过程和细节还需要进一步的研究。

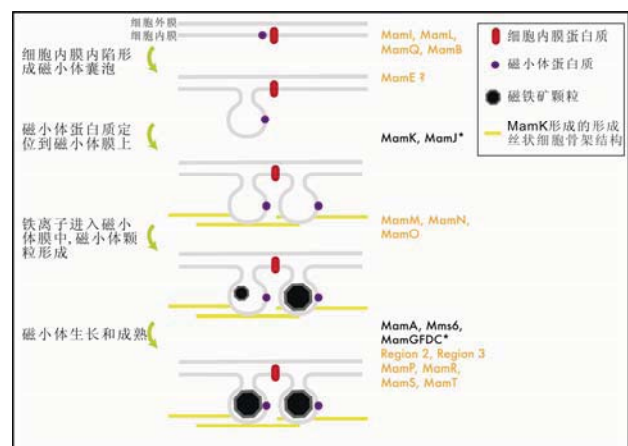


图 2 Komeili 等建立的趋磁细菌 *M. magnetotacticum* strain AMB-1 磁小体的矿化模型，修改自 (Murat et al., 2010)

参考文献:

- Arakaki, A., Webb, J., and Matsunaga, T. (2003) A novel protein tightly bound to bacterial magnetic particles in *Magnetospirillum magneticum* strain AMB-1. *J. Biol. Chem.* 278: 8745-8750.
- Arakaki, A., Masuda, F., Amemiya, Y., Tanaka, T., and Matsunaga, T. (2010) Control of the morphology and size of magnetite particles with peptides mimicking the Mms6 protein from magnetotactic bacteria. *J. Colloid Interface Sci.* 343: 65-70.
- Baskar, S., and Baskar, R. (2009) Geobiology and geomicrobiology: importance and need for studies in the Indian context. *Curr. Sci.* 96: 200-201.
- Bazylinski, D.A., and Moskowitz, B.M. (1997) Microbial biomineralization of magnetic iron minerals: microbiology, magnetism and environmental significance. In *Geomicrobiology: interactions between microbes and minerals*. Banfield, J.F., and Nealson, K.H. (eds), pp. 181-223.
- Bazylinski, D.A., and Frankel, R.B. (2003) Biologically controlled mineralization in prokaryotes. *Rev. Mineral. Geochem.* 54: 217-247.
- Bazylinski, D.A., and Frankel, R.B. (2004) Magnetosome formation in prokaryotes. *Nat. Rev. Microbiol.* 2: 217-230.
- Bellini, S. (2009a) Further studies on "magneto-sensitive bacteria". *Chin. J. Oceanol. Limnol.* 27: 6-12.
- Bellini, S. (2009b) On a unique behavior of freshwater bacteria. *Chin. J. Oceanol. Limnol.* 27: 3-5.
- Blakemore, R.P. (1975) Magnetotactic bacteria. *Science* 190: 377-379.
- Blakemore, R.P., Maratea, D., and Wolfe, R.S. (1979) Isolation and pure culture of a freshwater magnetic spirillum in chemically defined medium. *J. Bacteriol.* 140: 720-729.
- Ding, Y., Li, J., Liu, J., Yang, J., Jiang, W., Tian, J. et al. (2010) Deletion of the *ftsZ*-like gene results in the production of superparamagnetic magnetite magnetosomes in *Magnetospirillum gryphiswaldense*. *J. Bacteriol.* 192: 1097-1105.
- Dubbels, B.L., DiSpirito, A.A., Morton, J.D., Semrau, J.D., Neto, J.N., and Bazylinski, D.A. (2004) Evidence for a copper-dependent iron transport system in the marine, magnetotactic bacterium strain MV-1. *Microbiology* 150: 2931-2945.
- Gorby, Y.A., Beveridge, T.J., and Blakemore, R.P. (1988) Characterization of the bacterial magnetosome membrane. *J. Bacteriol.* 170: 834-841.
- Grünberg, K., Wawer, C., Tebo, B.M., and Schüler, D. (2001) A large gene cluster encoding several magnetosome proteins is conserved in different species of magnetotactic bacteria. *Appl. Environ. Microbiol.* 67: 4573-4582.
- Grünberg, K., Müller, E.C., Otto, A., Reszka, R., Linder, D., Kube, M. et al. (2004) Biochemical and proteomic analysis of the magnetosome membrane in *Magnetospirillum gryphiswaldense*. *Appl. Environ. Microbiol.* 70: 1040-1050.
- Jogler, C., and Schüler, D. (2009) Genomics, genetics, and cell biology of magnetosome formation. *Annu. Rev. Microbiol.* 63: 501-521.
- Junge, K. (2008) *Die funktion der CDF-transporter MamB und MamM beim magnetosomalen Eisentransport in Magnetospirillum gryphiswaldense*. Univ. Bremen: Doctoral thesis.
- Köster, W. (2001) ABC transporter-mediated uptake of iron, siderophores, heme and vitamin B₁₂. *Res. Microbiol.* 152: 291-301.
- Komeili, A. (2007) Molecular mechanisms of magnetosome formation. *Annu. Rev. Biochem.* 76: 27.21-27.16.
- Komeili, A., Li, Z., Newman, D.K., and Jensen, G.J. (2006) Magnetosomes are cell membrane invaginations organized by the actin-like protein MamK. *Science* 311: 242-245.
- Konhauser, K.O., Lalonde, S.V., and Phoenix, V.R. (2008) Bacterial biomineralization: where to from here? *Geobiology* 6: 298-302.
- Lovley, D.R., Stolz, J.F., Nord, G.L., and Phillips, E.J.P. (1987) Anaerobic production of magnetite by a dissimilatory iron-reducing microorganism. *Nature* 330: 252-254.
- Lowenstam, H.A. (1981) Minerals formed by organisms. *Science* 211: 1126-1131.
- Murat, D., Quinlan, A., Vali, H., and Komeili, A. (2010) Comprehensive genetic dissection of the magnetosome gene island reveals the step-wise assembly of a prokaryotic organelle. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107: 5593-5598.
- Nakamura, C., Sakaguchi, T., Kudo, S., Burgess, J., Sode, K., and Matsunaga, T. (1993) Characterization of iron uptake in the magnetic bacterium *Aquaspirillum* sp. AMB-1. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 39-40: 169-176
- Nakazawa, H., Arakaki, A., Narita-Yamada, S., Yashiro, I., Jinno, K., Aoki, N. et al. (2009) Whole genome sequence of *Desulfovibrio magneticus* strain RS-1 revealed common gene clusters in magnetotactic bacteria. *Genome Res.* 19: 1801-1808.
- Pan, Y., Deng, C., Liu, Q., Petersen, N., and Zhu, R. (2004) Biomineralization and magnetism of bacterial magnetosomes. *Chin. Sci. Bull.* 49: 2563-2568.
- Prozorov, T., Mallapragada, S.K., Narasimhan, B., Wang, L.J., Palo, P., Nilsen-Hamilton, M. et al. (2007)

Protein-mediated synthesis of uniform superparamagnetic magnetite nanocrystals. *Adv. Funct. Mater.* 17: 951-957.

Schübbe, S., Williams, T.J., Xie, G., Kiss, H.E., Brettin, T.S., Martinez, D. et al. (2009) Complete genome sequence of the chemolithoautotrophic marine magnetotactic coccus strain MC-1. *Appl. Environ. Microbiol.* 75: 4835-4852.

Schüler, D. (2008) Genetics and cell biology of magnetosome formation in magnetotactic bacteria. *FEMS Microbiol. Rev.* 32: 654-672.

Scheffel, A., Gärdes, A., Grünberg, K., Wanner, G., and Schüler, D. (2008) The major magnetosome proteins MamGFDC are not essential for magnetite biomineralization in *Magnetospirillum gryphiswaldense* but regulate the size of magnetosome crystals. *J. Bacteriol.* 190: 377-386.

Scheffel, A., Gruska, M., Faivre, D., Linaroudis, A., Plitzko, J.M., and Schüler, D. (2006) An acidic protein aligns magnetosomes along a filamentous structure in magnetotactic bacteria. *Nature* 440: 110-114.

Shively, J.M. (2006) *Complex intracellular structures in prokaryotes*. Heidelberg: Springer.

Ullrich, S., Kube, M., Schübbe, S., Reinhardt, R., and Schüler, D. (2005) A hypervariable 130-kilobase genomic region of *Magnetospirillum gryphiswaldense* comprises a magnetosome island which undergoes frequent rearrangements during stationary growth. *J. Bacteriol.* 187: 7176-7184.

崔福斋等 (2007) *生物矿化*. 北京: 清华大学出版社.

陈骏, 姚素平 (2005) 地质微生物学及其发展方向. *高校地质学报* 11: 154-166.

鲁安怀 (2007) 生命活动中矿化作用的环境响应机制研究. *高校地质学报* 13: 613-620.

重点连载

环境磁学在城市污染研究中的主要应用

乔庆庆

磁性测量方法简便、快速、经济, 样品无须作化学处理, 不影响原样的其它测试分析; 磁测仪器轻便、灵敏度高, 可携带到现场进行测量。磁测方法的这些特点弥补了大量化学分析耗时、耗费的不足, 为城市污染研究提供了一项实用而有效的辅助

手段。

城市环境中的磁性颗粒主要来自工业活动、燃料燃烧、汽车尾气等污染物中的亚铁磁性矿物, 这些磁性颗粒被排放到环境中, 在表土层中汇集, 通过大气和径流进行迁移, 或被植物、微生物等吸附并汇集; 因此, 可通过分析地表及水下沉积物、土壤、植物叶片、大气尘埃等的磁性特征, 来研究工业活动、燃料燃烧、道路交通等对城市环境污染的影响程度^[1]。

环境磁学用于城市污染研究是指应用岩石磁学和环境磁学的基本原理和测量分析技术, 研究大气圈、水圈和岩石圈中由于工业和人类活动等产生的磁性颗粒的磁性特征及搬运、沉积和转化规律^[2], 进而获取与环境污染的相关信息。环境磁学在城市污染研究中的应用主要包括环境污染指示、监测现代环境污染、典型地区污染填图以及重建近代污染历史等方面^[3-8]。近些年来, 随着磁学方法的优化和磁学测量仪器的更新, 利用环境磁学方法表征城市环境污染程度已经成为国内外研究的热点^[7]。综合起来, 主要有以下几个方面:

1. 城市土壤是城市大气污染物的主要蓄积库和指示器, 在一定程度上反映了城市环境的污染状况^[9]。随着人类活动产生的磁性颗粒沉降到城市土壤的表层, 就会造成表层土壤的污染, 导致城市表层土壤磁学特征明显不同于自然土壤^[10]。同时, 这些人类活动产生磁性矿物的同时往往会伴随着产生许多有害物质如重金属、SO₂、NO₂和多环芳烃等^[11]。因此, 利用城市土壤磁性参数作为污染物污染程度替代指标具有重要的实际意义和应用价值^[12]。

通常情况下, 污染地区的地表土壤的磁性明显增强, 这种磁性增强区别于成土作用。人类活动释放出的污染物中往往含有磁性颗粒; 如化石燃料高温燃烧过程中, 可以生成球形的磁性颗粒^[13], 一旦释放到环境中, 会造成大气飘尘、降尘和土壤磁性明显增强。旺罗等人^[14]报道了污染土壤的磁化率特

征,发现污染物质磁化率大,频率磁化率小,污染表土的频率磁化率与磁化率呈负相关。污染土壤和无污染土壤具有明显不同的磁化率特征,这些磁性特征为迅速识别污染土壤提供了简便、有效的方法。并且也说明磁化率和频率磁化率测试手段是识别土壤污染的简便方法,为监测土壤是否被污染以及污染的程度提供了一种简单、易行的手段。

土壤中的重金属元素不能为微生物所分解,却可为生物所富集。通过食物链,重金属浓度可以达到对该食物链中某些成员有害的水平,当食物链的终端是人时,人体的健康就会受到危害^[15]。大量研究表明,磁性参数与重金属之间存在相关性^[10,16-24]。磁性与重金属相关意味着重金属与铁磁性矿物以两种方式结合在一起:燃烧产生的铁球体颗粒含有相当高的重金属;重金属强烈地吸附在铁磁性矿物的表面。磁性颗粒是重金属的强吸附剂和载体,因此磁性参数是土壤中某些污染物质含量的定量指标^[25]。

2. 树叶磁性监测成为环境磁学发展的一个新的生长点^[26]。一些树叶的磁学研究^[27-35]发现:工业区和交通沿线周围各种植物叶片的磁学性质和区域大气环境质量之间存在一定的联系,磁指标的变化可以反映区域大气环境质量的动态变化,并可作为大气重金属的污染替代指标。首先,叶片具有比表面积大、生长周期长等优点。叶表蜡质层(具亲脂性)可以直接吸收大气环境中的粉尘、悬浮颗粒物、沉降物和不完全挥发有机物。特别是对粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的细颗粒物更为敏感,这些颗粒可通过扩散方式从表皮进入内层;其次,相对于叶表蜡质层直接吸收的粉尘等大气沉降物质,植物本身从根和土壤中吸收的大气沉降物质可以忽略不计,其背景场微乎其微;再者,树叶样品分布广泛并采集容易,因此可以方便、快速地获取大范围、高分辨率的重金属污染信息^[26,36,37]。

Hanesch等^[28]认为工业区土壤磁性特征反映的

是污染长期积累的效果,而树叶磁性特征反映的是污染较短时间内积累的效果,把土壤磁性特征和树叶磁性特征进行比较可反映研究区内污染的变化。因此,土壤和树叶磁化率等值线图的一致性,很可能是指示正在发生的污染的有力证据。

3. 城市道路尘埃是现代城市环境变化的重要载体之一,记载了城市工业、交通与人类活动的影响^[38]。它包含以下主要来源^[39]:悬浮粒子的沉降物和经过重新迁移的土壤,同时,交通、供暖、建筑物退化、建造和革新、电镀金属的腐蚀等对其周围沉降的道路尘埃都有直接的贡献。道路尘埃很难在一定的地方堆积较长时间,易再次悬浮到大气气溶胶中^[40,41],在降水冲刷作用下,成为街道径流及承受水体中溶解固体剂悬浮物的主要组成部分^[41],对城市土壤、水环境等造成持续污染。同时也是室内尘埃污染和城市大气颗粒物的主要来源^[42-44]。道路尘埃中常含有多种类型的重金属元素,可通过吸入、摄取及皮肤接触对人体造成潜在的危害,还会在空气中形成酸雨腐蚀建筑物及文物古迹。城市的尘土和表土易于收集,是最常用的研究城市污染状况的物质,也是最初应用于大气环境的长期污染状况和污染物来源的方法^[13]。应用这种方法可以监测到几年、几十年、甚至上百年的污染状况^[10,18,45,46]。这种方法可以进行大面积采样,避免直接吸收大气颗粒分布面局限的弊端;也可以避免不同植物的影响。因此,道路尘埃是城市环境污染研究中的重要对象^[47]。

城市道路尘埃物质的来源可分为自然源和人为源。自然源是指自然环境所形成的污染物质,包括土壤碎屑、沙尘暴、大气尘埃等;人为源是指人类活动所产生的污染物质,主要包括垃圾焚烧、机动车辆尾气排放、生活污水排放、交通路面摩擦(沥青、混凝土)及工业生产排放的物质等^[38]。这些物质沉降到街道等城市地面,使城市街道成为环境污染物的天然汇集处。同时,这些物质中伴生

着大量亚铁磁性颗粒和较多的重金属元素。道路尘埃中不同来源的磁性物质具有不同的磁学性质,进而可作为城市污染的替代指标^[48],这是利用磁学手段进行道路尘埃研究的主要理论基础。

4. 对大气颗粒物的研究,尤其是对可吸入颗粒物的研究,已经成为国际大气化学研究的最前沿课题。虽然大气颗粒物占全球大气的比例很小,但因其能对环境、气候和人体健康产生重要影响而越来越受到重视:(1)对人体健康产生负面效应。大气中的悬浮颗粒物可严重影响人类的身体健康,研究表明粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的微粒可通过呼吸作用进入人的肺中,严重损伤肺部功能引发肺炎等呼吸系统疾病^[49]。粒径小于 $10\mu\text{m}$ 的悬浮颗粒物的磁化率与污染数据及气象数据之间的关系:与 NO_2 、 SO_2 呈正相关,与风速以及 O_3 的含量呈负相关^[11]。流行病学研究表明,悬浮颗粒物的粒径、数目、表面积等是影响人类健康的主要因素^[50]。国际上,大量的流行病学调查表明,成人死亡率和致病率的增加与大气颗粒物污染水平升高之间存在明显的相关关系^[51-56];(2)引起大气能见度的降低。细粒子($<2.5\mu\text{m}$)是影响能见度的重要因素^[57];(3)长距离输送引起区域性甚至全球污染。大气颗粒物可以输送几百、几千甚至上万千米,引起区域性和全球性污染,例如起源于中国西北地区的沙尘暴和中国大陆的大气污染物可以被输送到韩国^[58]、日本^[59]甚至北太平洋的夏威夷岛屿和北美地区^[60];(4)大气颗粒物的表面还可以作为大气非均相化学反应的界面,并携带污染物对全球化学物质的地球化学循环产生影响^[61];(5)对全球气候产生重要影响。大气颗粒物可以通过散射和吸收太阳辐射直接影响气候,也可以通过以云凝结核的形式改变云的光学性质和云的分布而间接影响气候^[62]。

20世纪80年代中期环境磁学方法开始应用于监测大气污染^[13,63],大量研究表明大气中的磁性矿物颗粒含量一般占城市大气微粒的5~15%,其中铁的

氧化物和氢氧化物约占磁性矿物颗粒的10~70%^[49,63];这些磁性颗粒主要来源于车辆等交通工具的排放物以及电厂、水泥厂、冶炼厂等排放的烟尘。许多学者用环境磁学的方法调查研究了大气颗粒物中磁性颗粒的行踪轨迹、污染物的磁学参数和颗粒污染物组成元素浓度之间的关系^[11,27,64-66]。例如,Morris等^[11]成功地识别出在城市环境中可被呼吸的大气颗粒物的磁性特征,发现磁化率值随煤燃烧所产生的铁微粒含量的变化而变化。空气中的某些有机成分(如多环芳香烃)会损害人体内的DNA而诱发疾病,从而危害人类健康,这种诱变性可通过分离过滤器中的有机成分并对其进行标准生物测定而使其量化。实验表明这种诱变性和磁化率之间存在强相关($R=0.89$)。Shu等^[65]通过对上海宝钢和火电厂周围布置的11个大气颗粒物收集点连续七天的降尘研究,发现大气悬浮物主要来自煤的燃烧,少许来自建筑业、车辆尾气、扬尘和钢铁制造业。

另外,大气颗粒物的磁学参数与气象数据、污染数据之间存在一定的关系。Muxworthy等^[66]研究德国慕尼黑的悬浮颗粒物,发现城区污染空气微粒的磁滞参数与气象数据之间存在强相关,但与污染数据之间的相关性依赖于采集点的位置。进一步研究发现,与磁性颗粒含量有关的磁性参数,其变化受到气象状况和微粒沉降速率的控制,而与岩石学或粒度有关的磁性参数则基本不变。SIRM与微粒含量存在强相关,当样品磁性很弱时,SIRM可取代磁化率而成为大气微粒的指示器^[67]。

总之,综合利用大气悬浮微粒的磁性特征、地球化学特征以及气象特征可分辨城区和工业区大气污染的来源;而大量研究证明快速且无破坏性的磁性参数测量为快速估计大气悬浮颗粒物的来源及重金属组成提供了非常有效的手段^[13,68]。

参考文献:

- [1] 张春霞,黄宝春.环境磁学在城市环境污染监测中的应用和进展.地球物理学进展,2005,20(3):

- 705-711
- [2] Thompson R, Oldfield F. Environmental Magnetism. London: Allen & Unwin, 1986
- [3] 姜月华,殷鸿福,王润华. 环境磁学理论、方法和研究进展. 地球学报, 2004, 25(3): 357-362
- [4] 俞立中. 环境磁学在城市污染研究中的应用. 上海环境科学, 1999, 18(4): 175-178
- [5] 张春霞,黄宝春.环境磁学在城市环境污染监测中的应用和进展. 地球物理学进展, 2005, 20(3): 705-711
- [6] 陈满容,王少平,俞立中. 环境磁学及其在地理环境研究中的应用.云南地理环境研究,2001, 13(1): 11-19
- [7] 王学松,秦勇. 城市环境中磁学响应的研究进展. 中国环境监测, 2003, 19(6): 62-64
- [8] 闫海涛,胡守云,朱育新. 磁学方法在环境污染研究中的应用. 地球科学进展, 2004, 19(2): 230-236
- [9] Manta D, Angelone M, Bellanca A, et al. Heavy metal in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. The Science of the Total Environment, 2002, 300: 229-236
- [10] Heller F, Strzysca Z, Magiera T. Magnetic record of industrial pollution in forest soils of Upper Silesia, Poland. Journal of Geophysical Research, 1998, 103: 17767-17774
- [11] Morris W A, Versteeg J K, Bryant D W, et al. Preliminary comparisons between mutagenicity and magnetic susceptibility of respirable airborne particulate. Atmospheric Environment, 1995, 29(23): 3441-3450
- [12] 王学松,秦勇. 徐州市城市表层土壤的磁学特征. 科技导报, 2005, 23(11): 14-19
- [13] Hunt A, Jones J, Oldfield F. Magnetic measurements and heavy metals in atmospheric particulates of anthropogenic origin. The Science of the Total Environment, 1984, 33: 129-139
- [14] 旺罗,刘东生,吕厚远. 污染土壤的磁化率特征. 科学通报, 2000, 45(10): 1091-1094
- [15] 任旭喜.土壤重金属污染及防治对策研究. 环境保护科学, 1999, 25(5): 31 - 33
- [16] Hanesch M, Rantitsch G, Hemetsberger S, et al. Lithological and pedological influences on the magnetic susceptibility of soil: Their consideration in magnetic pollution mapping. Science of the Total Environment, 2007, 382: 351-363
- [17] Strzyszc Z, Magiera T. Magnetic susceptibility and heavy metals contamination in soils of Southern Poland. Physics and Chemistry of the Earth, 1998, 23: 1127-1131
- [18] Bityukova L, Scholger R, Birke M. Magnetic susceptibility as indicator of environmental pollution of soils in Tallinn. Physics and Chemistry of the Earth, 1999, 24(9): 829-835
- [19] Jordanova N V, Jordanova D V, Veneva L, et al. Magnetic response of soils and vegetation of heavy metal pollution-A case study. Environmental Science and Technology, 2003, 37(19): 4417-4429
- [20] Schmidt A, Yarnold R, Hill M, et al. Magnetic susceptibility as proxy for heavy metal pollution: a site study. Journal of Geochemical Exploration, 2005, 85: 109-117
- [21] Chan L S, Yeung C H, Yim W W S, et al. Correlation between magnetic Susceptibility and Distribution of Heavy Metals in Contaminated Sedbed Sediments in Hong Kong Harbour. Environmental Geology, 1998, 26: 77-86
- [22] Chan L S, Ng S L, Davis A M, et al. Magnetic properties and heavy metal contents of contaminated seabed sediments of Penny's Bay, Hong Kong. Marine Pollution Bulletin, 2001, 42(7): 569-583
- [23] Chaparro M A E, Bidegain J C, Sinito A M, et al. Preliminary results of magnetic measurements on stream-sediments from Buenos Aires province, Argentina. Studia Geophysica et Geodaetica, 2003, 47: 121-145
- [24] Chaparro M A E, Bidegain J C, Sinito A M, et al. Magnetic studies applied to different environments (soils and stream sediments) from a relatively polluted area in Buenos Aires Province, Argentina. Environmental Geology, 2004, 45: 654-664
- [25] Versteeg J K, Morris W A, Rukavina N A. The utility of magnetic propertyes as a proxy for mapping contamination in Hamilton Harbor sediments. Great

- Lakes Research, 1995, 21: 71-83
- [26] 胡守云,段雪梅,沈明洁,等. 北京首钢工业区大气重金属污染树叶的磁学响应. 科学通报, 2008, 53(4): 437-445
- [27] Urbat M, Lehndorff E, Schwark L. Biomonitoring of air quality in the Cologne conurbation using pine needles as a passive sampler—Part I: Magnetic properties. *Atmospheric Environment*, 2004, 38: 3781-3792
- [28] Hanesch M, Scholger R, Rey D. Mapping dust distribution around an industrial site by measuring magnetic parameters of tree leaves. *Atmospheric Environment*, 2003, 37: 5125-5133
- [29] Gautam P, Blaha U, Appel E. Magnetic susceptibility of dust-loaded leaves as a proxy of traffic-related heavy metal pollution in Kathmandu city, Nepal. *Atmospheric Environment*, 2005, 39: 2201-2211
- [30] 张春霞,黄宝春,李震宇,等. 高速公路附近树叶的磁学性质及其对环境污染的指示意义. 科学通报, 2006, 51(12): 1459-1468
- [31] Matzka J, Maher B A. Magnetic biomonitoring of roadside tree leaves: Identification of spatial and temporal variation in vehicle-derived particles. *Atmospheric Environment*, 1999, 33: 4565-4569
- [32] Moreno E, Sagnotti L, Dinarès-Turell J, et al. Biomonitoring of traffic air pollution in Rome using magnetic properties of tree leaves. *Atmospheric Environment*, 2003, 37: 2967-2977
- [33] Maher B A, Moore C, Matzka J. Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves. *Atmospheric Environment*, 2008, 42: 364-373
- [34] Szonyi M, Sagnotti L, Hirt A M. On leaf magnetic homogeneity in particulate matter biomonitoring. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34, doi:10.1029/2006GL029076
- [35] McIntosh G, Gómez-Paccard M, Osete M L. The magnetic properties of particles deposited on *Platanus X Hispanica* leaves in Madrid, Spain, and their temporal and spatial variations. *Science of the Total Environment*, 2007, 382: 135-146
- [36] Monaci F, Moni F, Lanciotti E, et al. Biomonitoring of airborne metals in urban environments, new tracers of vehicle emission, in place of lead. *Environmental Pollution*, 2000, 107: 321-327
- [37] Alfani A, Baldantoni D, Maisto G, et al. Temporal and spatial variation in C, N, S and trace element contents in the leaves of *Quercus ilex* within the urban area of Naples. *Environmental Pollution*, 2000, 109: 119-129
- [38] 刘振东,杨凌. 城市道路尘埃的磁性特征及其环境意义. 地质科技情报, 2005, 24(3): 93-98
- [39] Ferreira-Baptista L, Miguel E D. Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: A tropical urban environment. *Atmospheric Environment*, 2005, 39(25): 4501-4512
- [40] Maxwell C M, Nelson D W. Development of lead emission factor for reentrained dust from paved roadways. Presented at the 71st Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Houston, Texas, 25-30 June 1978
- [41] Vermette S J, Irvine K N, Drake J J. Temporal variability of the elemental composition in urban street dust. *Environmental Monitoring Assessment*, 1991, 18: 69-77
- [42] Fergusson J E. Dust in the environment. In: *Science of Global Change*. American Chemical Society, 1992, 34: 117-133
- [43] Adgate J L, Willis R D, Buckley T J, et al. Chemical mass balance source apportionment of lead in house dust. *Environmental Science and Technology*, 1998, 32: 108-114
- [44] Harrison R M, Smith D J T, Piou C A, et al. Comparative receptor modeling study of airborne particulate pollutants in Birmingham (UK), Coimbra (Portugal) and Lahore (Pakistan). *Atmospheric Environment*, 1997, 31: 3309-3321
- [45] Kapicka A, Jordanova N, Petrovsky E, et al. Effect of different soil conditions on magnetic parameters of power-plant fly ashes. *Journal of Applied Geophysics*, 2001, 48(2): 93-102

- [46] Hay K L, Dearing J A, Baban S M J, et al. A preliminary attempt to identify atmospherically-derived pollution particles in English topsoils from magnetic susceptibility measurements. *Physics and Chemistry of Earth*, 1997, 22: 207-210
- [47] 王冠,夏敦胜,刘秀铭,等. 兰州市城市道路尘埃磁学特征时空变化规律. *科学通报*, 2008, 53(4): 446-455
- [48] 夏敦胜,余晔,马剑英,等. 兰州市道路尘埃磁学特征及其环境意义. *环境科学*, 2007, 28(5): 937-944
- [49] Pope C A, Dockery D W, Schwartz J. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American Journal of Respiration and Critical Care Medicine*, 1995, 151: 669-674
- [50] Donaldson K, Li X, MacNee W. Ultrafine (nanometre) particle mediated lung injury. *Journal of Aerosol Science*, 1998, 29(5): 553-560
- [51] Filleul L, Medina S, Cassadou S. Urban particulate air pollution: from epidemiology to health impact in public health. *Revue D Epidemiologie Et De Sante Publique*, 2003, 51(5): 527-542
- [52] Schwartz J. Air pollution and daily mortality-a review and meta analysis. *Environmental Research*, 1994, 64(1): 36-52
- [53] Koranteng S, Vargas A R O, Buka I. Ambient air pollution and children's health: A systematic review of Canadian epidemiological studies. *Paediatrics & Child Health*, 2007, 12(3): 225-233
- [54] Valavanidis A, Fiotakis K, Vlachogianni T. Airborne Particulate Matter and Human Health: Toxicological Assessment and Importance of Size and Composition of Particles for Oxidative Damage and Carcinogenic Mechanisms. *Journal of Environmental Science and Health Part C-Environmental Carcinogenesis & Ecotoxicology Reviews*, 2008, 26(4): 339-362
- [55] Pope C A. Review: Epidemiological basis for particulate air pollution health standards. *Aerosol Science and Technology*, 2000, 32(1): 4-14
- [56] Pope C A, Dockery D W, Schwartz, J. Review of epidemiological evidence of health-effects of particulate air-pollution. *Inhalation Toxicology*, 1995, 7(1): 1-18
- [57] Horvath H. Atmospheric light-absorption-A review. *Atmospheric Environment Part a-General Topics*, 1993, 27(3): 293-317
- [58] Kim W, Doh S J, Yu Y J. Anthropogenic contribution of magnetic particulates in urban roadside dust. *Atmospheric Environment*, 2009, 43: 3137-3144
- [59] Ma C J, Kasahara M, Holler R, et al. Characteristics of single particles sampled in Japan during the Asian dust-storm period. *Atmospheric Environment*, 2001, 35(15): 2707-2714
- [60] Kurtz A C, Derry L A, Chadwick O A. Accretion of Asian dust to Hawaiian soils: Isotopic, elemental, and mineral mass balances. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 2001, 65(12): 1971-1983
- [61] Dentener F J, Carmichael G R, Zhang Y, et al. Role of mineral aerosol as a reactive surface in the global troposphere. *Journal of Geophysical Research*, 1996, 101(D17): 22869-22889
- [62] Buseck P R, Posfai M. Airborne minerals and related aerosol particles: Effects on climate and the environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1999, 96(7): 3372-3379
- [63] Oldfield F, Hunt A, Jones M D H, et al. Magnetic differentiation of atmospheric dusts. *Nature*, 1985, 317:516-518
- [64] Petrovský E, Ellwood B. Magnetic monitoring of air-, land-, and water-pollution. In: Maher, B.A., Thompson, R (Eds.), *Quaternary Climates, Environments and Magnetism*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1999
- [65] Shu J, Dearing J A, Morse A P, et al. Determining the sources of atmospheric particles in Shanghai, China, from magnetic and geochemical properties. *Atmospheric Environment*, 2001, 35: 2615-2625
- [66] Muxworthy A R, Matzka J, Petersen N. Comparison of magnetic parameters of urban atmospheric

particulate matter with pollution and meteorological data . Atmospheric Environment, 2001, 35:4379-4386

[67] Muxworthy A R, Matzka J, Fernandez D, et al. Magnetic signature of daily sampled urban atmospheric particles . Atmospheric Environment, 2003, 37: 4163-4169

[68] Beckwith P R, Ellis J B, Revitt D M, et al. Heavy metal and magnetic relationships for urban source sediments. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1986, 42: 67-75

文献导读

大块阿波罗样品的磁学研究：月球古偶极磁场的可能证据

胡鹏翔

虽然月壳磁化的存在已经毋庸置疑，但月岩是如何，在什么时间磁化的，以及磁化磁场的来源都还没有得到解决。其中关键的问题是，月球是否存在一个地核发电机能够自发产生磁场。阿波罗 11-17 号任务提供了大量月球样品，大量古地磁研究显示存在一个古月核发电机，但可能只在 3.6-3.9 Ga 期间活跃。然而，大多数古强度研究的结果并不可靠，并且月岩样品中磁性矿物非常稀少，主要磁性携带者是多畴的陨铁镍，在返回过程中也容易受到污染。由于大多数样品都受到过冲击，也无法排除冲击剩磁占主导的可能性。针对上述问题，本文选取 17 个月岩样品，进行了详细岩石磁学和古地磁学的研究。

所有样品主要载磁矿物为多畴 FeNi 颗粒，亚铁磁性矿物含量在玄武岩中较高，钙长石中较低。交变退磁结果显示，11 个样品可以分离出稳定的剩磁

组分，其中 4 个样品具有单一的小于 15 mT 的组分，极有可能是磁污染所致（图 1B）。剩余 7 个样品都可以分离出高矫顽力的稳定组分，然而，如果天然剩磁是热剩磁，那么天然剩磁的交变退磁行为应该和非磁滞剩磁的交变退磁行为比较相似，以此为标准，5 个样品存在稳定的特征剩磁（图 1C, D），可能是在月球古磁场中所获得的。这些样品年龄在 3.3-3.8 Ga 之间，估计得古强度为 20-110 μ T。这说明，月球表面确实存在一个古磁场。对于这个年龄范围的样品记录了如此强的古磁场，唯一的来源就是存在一个发电机机制来产生自发磁场。

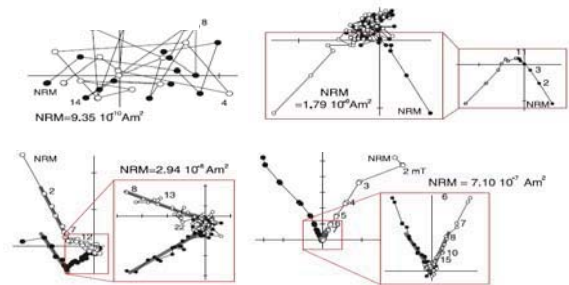


图 1 部分样品交变退磁的 Z 氏图

对于月玄武岩，可以通过计算磁叶理来得到古水平面，因为月玄武岩的粘滞性更低，有利于颗粒的定向生长。因此，作者对 7 个玄武岩样品进行了 AMS 测量，由于 AMS 的测量和 NRM 在同一个方向上，因此，古纬度可以通过计算稳定剩磁的方向和最小磁化率轴之间的夹角获得，从而进一步获得地磁倾角大小。为了获得倾角的方向，作者假设月球磁场是一个沿当今旋转轴方向的偶极磁场。在北半球的样品倾角为正，而在南极为负。然后再通过倾角求出古纬度，此计算值与样品的实际位置非常相似，从而暗示这种偶极子场存在的可能性。作者针对每一个样品根据其古纬度和采样地点计算了一个可能的古地磁极范围，这些范围的交叉处正好符合当今旋转轴对应的极的位置（图 2）。综上，作者认为在 3.3-3.8 Ga 之间，存在一个发电机使得月球存在一个中心偶极子场，强度大概为几十 μ T。

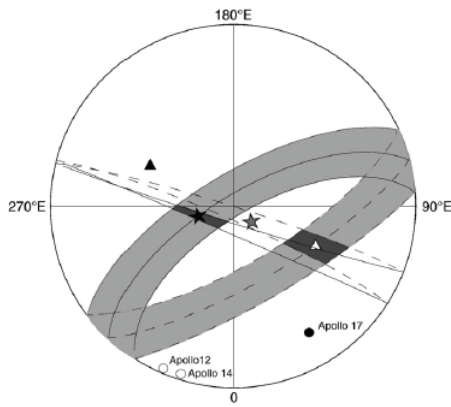


图 2 每个阿波罗采样点样品算出的可能古极位置的等面积投影图。实线和圈代表北半球样品计算结果，虚线和圈代表南半球样品计算结果。阴影区是可能范围的交叉区，黑色星星代表最佳的古极位置，黑色三角是其在北半球的投影；空心三角是另一个可能的古极位置，灰色星星是 Hood (2011) 估计得古极位置。

参考文献

Cournède C., Gattacceca J., Rochette P. (2012), Magnetic study of large Apollo samples: Possible evidence for an ancient centered dipolar field on the Moon, *Earth and Planetary Science Letters*, 331–332, 31–42.

浅层埋藏过程中纳米级磁铁矿的持续生成

姜兆霞

很多地质过程会使岩石发生重磁化现象，例如在埋藏过程中，温度等外界因素会导致新的磁性矿物生成，当磁性矿物颗粒超过阻挡体积时，便会在当时地磁场下获得一个剩磁，该剩磁即为化学剩磁，最终导致岩石的重磁化。另外，埋藏深度越大，温度越高，重磁化的程度也随之变化。为了系统地研究重磁化程度随埋藏深度的变化，Kars et al. (2012) 在实验室中模拟了泥岩在不同的加热温度条件下剩磁以及各磁学参数的变化。

作者在进行实验之前，先对样品进行了交变退磁，然后将其放入玻璃罐中密封，从 50°C 逐步加热到 70, 80, 120, 130°C，以此来模拟埋藏逐步加深的过程，该实验在 2mT 的磁场环境中进行。每个温

度点测量其剩磁及相关参数。实验结果表明，随着温度的增加，样品的平均剩磁逐渐增加（图 1a），同时解阻温度也逐渐增加，变化范围从 280 °C 到大于 400 °C（图 1b, c）。另外低温实验表明，样品在 120K 左右存在 Verwey 转换，说明新生成的矿物为细粒磁铁矿（图 1d, e）。并且温度越高，细粒磁铁矿越多。

基于此，作者提出了一个在浅层埋藏过程中，磁铁矿成核生长的简易模型（图 2）。在表层主要为碎屑磁性聚集物，随着埋藏深度的增加，大量的磁性碎屑由于细菌的活动而被溶解。于是，剩余的原生磁性信号被重新定向，并且新的磁性矿物（如磁铁矿，胶黄铁矿）逐渐生成，并稳定的保存在沉积物中。在细菌活动层之下（大约~ 2Km），随着深度增加，SP 和 SD 磁铁矿逐渐增多，并且 SP 颗粒的生成速率要高于 SD 的生成速率。如果可以将二者的生成速率比值进行定量化，那么该参数便可以预测沉积岩最大的埋藏深度。

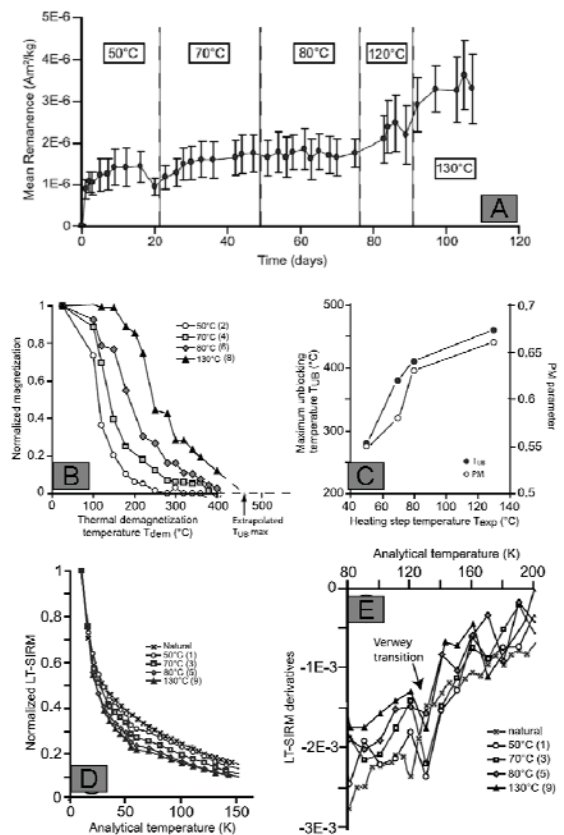


图 1 不同加热温度样品的磁学测量

A: 样品剩磁随温度变化; B: 样品热退磁曲线; C: 解阻温度随加热温度的变化; D: 低温剩磁随温度变化曲线; E: 低温剩磁随温度变化的一阶导数曲线

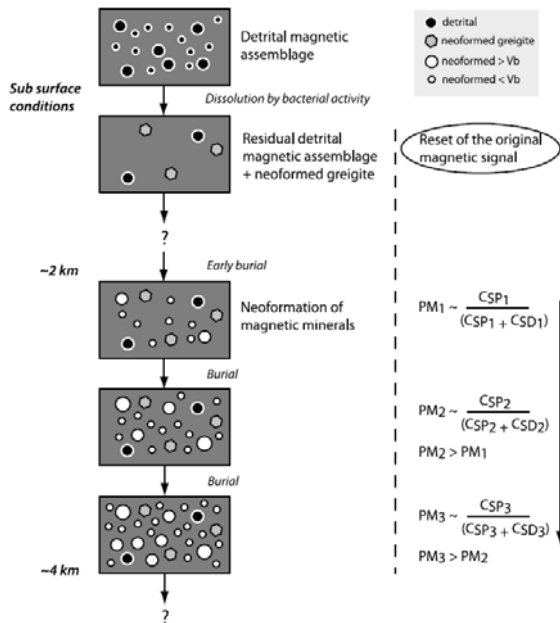


图2 磁铁矿在浅层埋藏过程中 (< 4 km) 成核生长的简易模型 CSP 和 CSD 分别代表了SP和SD颗粒的含量

参考文献:

Kars, M., C. Aubourg, J.-P. Pozzi, and D. Janots (2012), Continuous production of nanosized magnetite through low gradeburial, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 13, Q08Z48, doi:10.1029/2012GC004104.

南极威尔克斯陆缘年代地层框架初探

刘建兴

(**南极简介:** 南极被人们称为第七大陆, 是地球上最后一个被发现、唯一没有土著人居住的大陆。南极大陆总面积为 1390 万平方公里, 相当于中国和印巴次大陆面积的总和, 居世界各洲第五位。整个南极大陆被一个巨大的冰盖所覆盖, 平均海拔为 2350 米。南极洲原是古冈瓦那大陆的核心部分。大约在 1.85 亿年前古瓦纳大陆先后分裂为非洲南美洲板块、印度板块、澳洲板块并相继与之脱离。大约在 1.35 亿年前非洲南美洲板块一分为二, 形成了非洲板块与南美板块。大约在 5500 万年前澳洲板块

最后从古冈瓦纳大陆上断裂下来飘然北去, 于是只剩下了南极洲。东南极与西南极在地质上截然不同, 东南极是一个古老的地质, 距今约 30 亿年, 而西南极是由若干板块组成, 在地质年龄上远比东南极年轻。整个南极洲大陆海岸线长约 24700 km。南极地区蕴藏着极为丰富的矿产资源, 同时南极气候和冰盖的演化对全球气候系统以及大洋环流有着重要的响应和反馈, 因此其成为近几十年来各国科学家研究的重点和热点地区。)

样品及实验方法简述

为了更好地了解南极古海洋事件, 近期 L. Tauxe et al 对综合大洋钻探 (IODP) 之 318 航次在威尔克斯陆缘钻得的 3 根柱状岩心 (U1356, U1359 和 U1361) 进行了系统的磁性地层研究, 并结合已有的生物地层学的结果给出了该区从早始新世至全新世的年代地层框架。

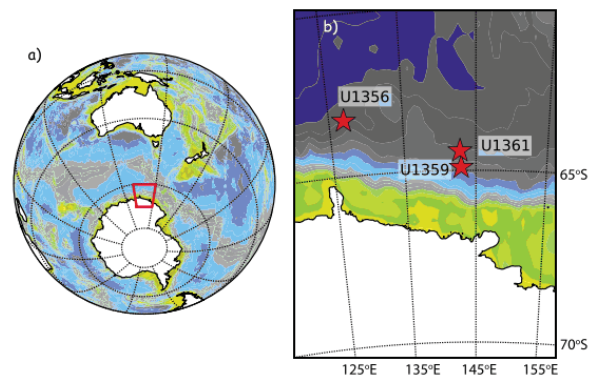


图 1 钻孔位置

钻孔揭示了下-中始新世, 几乎整个渐新世, 17 Ma 以后的中新世, 整个上新世以及大部分更新世以来的沉积历史。分别对连续样品和离散样品进行了系统的古地磁测试。具体操作流程如下:

在船上将钻取的岩心沿中间轴线剖开, 而后以 5 cm 为测量间距, 用船载 2G 超导磁力仪对其进行天然剩磁 (NRM) 和退磁后剩磁的测量。一些岩心采用逐步退磁的方法, 退磁步骤为 5, 10, 15, 20, 25 mT, 多数样品直接经过一步退磁, 退磁场为 15 或 20 mT。

以 1.5 m 为间距取离散样, 对其中一部分样品, 在船上进行逐步的交变退磁, 退磁场依次为 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60 mT。为了消除退磁过程中产生的非磁滞剩磁 (ARM), 对上述样品分别在三轴上进行退磁以及相应的剩磁测量。其他样品同样地只经历了 15 或 20 mT 的一步退磁。

为了评判退磁结果的真实性, 对所有离散样品都进行了磁化率各向异性 (AMS) 测试, 另外还对岩心进行了高像素的拍照, 作为后面取舍退磁结果的依据。

对于实验结果采用 Kirschvink 主向量分析以及 Fisher 统计得到特征方向。

磁性地层

由于钻孔位于南半球, 因此负向倾角对应了正极性而正向倾角对应了负极性。以下为本文 3 个钻孔的磁性地层结果及年代地层框架。

1. U1356

该钻孔整个采用了旋转钻进取样, 由于顶部 0–100 m 在钻取过程中严重扰动, 因此无法进行磁性地层研究。将以下的部分按照沉积速率分为 4 段讨论。

100–400 m: 结合已有的硅藻和放射虫事件的研究结果, 该段的时间跨度约为 13–17 Ma。尽管该段的取心不甚连续, 但是其揭示出了该时间段内的所有极性幕, 可以与标准极性柱 (GPTS) 中的 C5AAr–C5Cr 区间很好地进行对比 (图 2a)。

400 m 以下由于不存在沉积速率的极端的变化, 因此很难与 GPTS 中的 C5Cr 以下进行对比, 不过在 431.48 m 处发现了有孔虫 *Reticulofenestra bisecta* 的末现位 (L.O. R) 而这一层位一般被认为中新统的底界, 据此, 可以判断钻孔 432.77 m 处对应 C6C. 2n 的底界, 所以判断其上缺失了从 C5D 到 C6Cn. 2n 的沉积层, 时间跨度大约为 7 Ma。

岩心 430–883 层段缺乏生物地层控制点, 仅存在少量的放射虫和有孔虫事件。然而根据已有的研

究在 653 m 处的沉积速率从 89 m/my 变为 28 m/my 的事实, 可以将其与 GPTS 中的 C6Cn. 2n 至 C13n 进行对比。

根据在钻孔 883.34 ± 2.6 m 处出现的钙质微古化石 *Reticulofenestra umbilicus* 和 *Isthmolithus recurvus* 的末现位以及 894.68 m 处出现的沟鞭藻 *Malvinia escutiana* 的初现位, 可将钻孔 878–883 m 的正向区间与 GPTS 中的 C13 相对应。

岩心 883–895 m 出现弯曲基底, 已有研究认为该段系海底滑塌沉积, 很难与 GPTS 进行对比。然而在 894.71 m 处发现了 *Membranophrium perforatum* 的末现位, 认为其时代为中始新世, 其下缺失了始新世约 13 Ma 的沉积层位。结合已有生物地层研究, 认为该孔底界年龄约为早始新世。

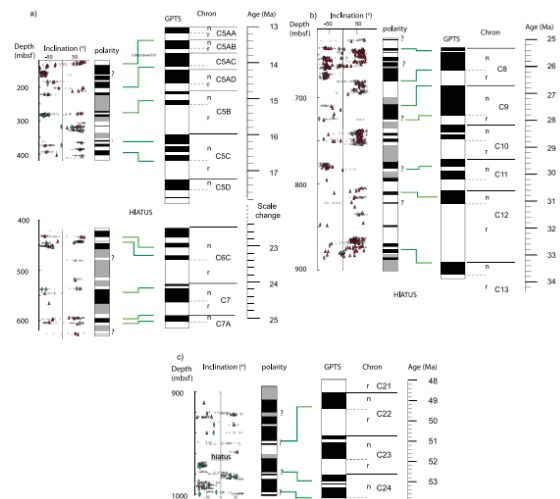


图 2 U1356 孔磁性地层

2. U1359

该站共获得 4 个钻孔 (岩心, A, B, C, D), 其中顶部 215 m 采用三角活塞取样技术在 A–C 三孔取得, 215 m 以下直至 600 m 以下部分采用旋转取样技术在 D 孔活的, 取 4 孔最好的部分进行该站位深度的整合。

该站位的 MBB 在 A/B 钻孔的深度分别为 17.87 m 和 17.28 m。Jaramillo 的顶界深度在该两个孔的深度分别为 24.13 m 和 23.90 m。A 孔中 25.79 m 处可能对应了 Punaruu 事件 (1.092 Ma), B 孔中约 27 处与 Cobb Mountain 对应。对于 B 孔中应该出现

后续的南极冰盖的发展演化以及相应的古环境研究有着重要的意义。

(补充内容——南极冰盖演化过程: 根据氧同位素记录, 南极大陆在 35 Ma B. P. 的渐新世早期开始出现冰川, 但还不是永久性的。冰川形成过程中, 产生的高盐度水下沉并向赤道运动, 成为南极底层流 (AABW) 和西部边界流, 而奠定了当时的大洋格局。板块运动驱使南美洲不断向北漂移, 导致 Drake 海峡打开, 接着, 由于澳大利亚继续向北漂移, 大约在 25~30 Ma B. P. 的渐新世晚期, Tasmania 海隆最终与南极洲分开, 这是一个意义重大的地质事件。Drake 海峡和 Tasmania 海隆的开放为太平洋和大西洋的水体交流扫除了最后的障碍, 南极绕极流最终形成。强劲的南极绕极流以每秒约 2 亿 m^3 的巨大水量通过 Drake 海峡, 全球的大洋环流系统因此发生了革命性的巨变, 南极从此转入热孤立状态, 永久性的南极冰盖最终形成 (Kennet, 1977; 何起祥, 《中国海洋沉积地质学》, 2006))

参考文献:

L. Tauxe, C. E. Stickley, S. Sugisaki, et al. Chronostratigraphic framework for the IODP Expedition 318 cores from the Wilks Land Margin: Constraints for paleoceanographic reconstruction. *Paleoceanography*, 2012 (27): 1-19.

意大利 Belluno 盆地古新世磁性-生物地层学与受气候控制的岩石磁学研究

孙露

Belluno 盆地位于意大利北部、南阿尔卑斯山的威尼斯地区, 区内地层展布广阔, 并拥有跨越晚白垩纪至始新世的连续的特提斯海相沉积。已有相当多的成果从古地磁、古生物、地球化学和地球物

理等方面提高了该地区古新世-始新世时间年表的精度, 本文研究了该地区厚约 113m、跨越上白垩统至上古近系的 South Ardo 剖面, 得到了新的磁极性地层学、岩石磁学以及钙质微化石生物地层学的的数据。

South Ardo 剖面的钙质微化石组合较为丰富, 分异度较高, 除了钙化较为严重的 Maastrichtian 阶之外, 化石的保存状态随岩性不同从较差到中等都有。微化石的保存条件在 Danian 阶有显著改善, 其中常见到小的、易碎的 placoliths (盾形颗石)。中、上古新系的微化石组合保存较好, placoliths 和 nannoliths 都表现出很高的分异度。该剖面从 100.9 至 106.3m 的地层并未出露, 根据古生物学的结果古新世-始新世的界限就位于这 5.4m 的地层内。

岩石磁学实验表明, South Ardo 剖面中的载磁矿物主要分为高矫顽力的赤铁矿与低矫顽力的磁赤铁矿和/或磁铁矿, 只是在剖面的不同深度段其相对含量有所不同。IRM_{L.0/0.1T} 比值可用来反映高矫顽力与低矫顽力矿物的相对含量变化, 在该剖面中 IRM_{L.0/0.1T} 的值与赤铁矿含量相对于磁铁矿和/或磁赤铁矿含量的变化成正相关关系。总体上看该比值在整个剖面上都处于较低水平, 随着剖面变浅逐渐增大, 这表明赤铁矿含量相对于占主导地位的磁赤铁矿/磁铁矿来说较少 (图 1)。

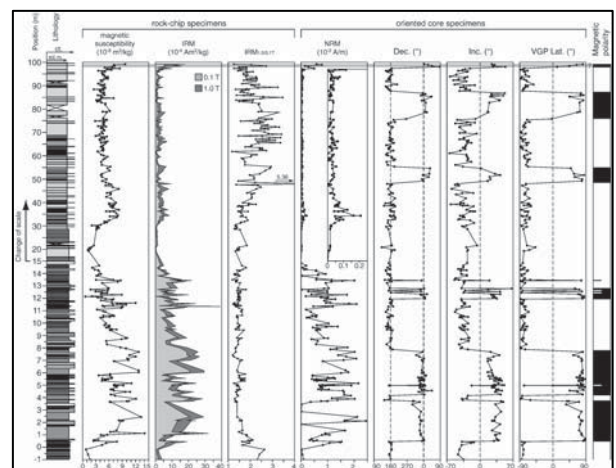


图 1 South Ardo 剖面的岩性及磁性地层学结果

330 块定向岩芯样品产生了 11 个磁极性倒转，根据前文中得到的生物地层学结果以及与其它相关剖面的对比，South Ardo 剖面起始于 C29r 至 C24r 极性时，即~65 至 55.5Ma(图 2)。根据磁极性地层学得到的年龄框架，作者构建了 South Ardo 剖面的时-深曲线，发现该地区的沉积速率在 K/Pg 界限与 C27n 之间为~1-5m/Myr，随后逐渐增大到~12 至 20-24m/Myr。根据这一年龄模式得到的钙质微化石生物层的时代与在 Belluno 盆地内、其它特提斯构造域以及特提斯之外的地点得到的生物层时代吻合，这表明了古新世和早始新世时期温度在纬向上具有较低的梯度变化，这有利于钙质微化石更广的古生物地理分布。

作者利用 Belluno 盆地两个剖面(South Ardo 和 Cicogna) 古新世至早始新世期间的 $IRM_{1.0/0.1T}$ 记录与同时期经过年龄校正的 $\delta^{18}O$ 记录进行对比，发现在 $\delta^{18}O$ 相对较高(气候相对较冷)的 65Ma(K/Pg 界限)至~55.5Ma 期间， $IRM_{1.0/0.1T}$ 比值相对较低，表明碎屑成因的赤铁矿含量极少。在此期间 $IRM_{1.0/0.1T}$ 的比值于 C26r/C26n 倒转处发生了突然和短暂的增加，这与早晚古新世事件(early late Paleocene Event, ELPE)相关，代表了一个短暂的温暖期。从古新世-始新世界限一直到早始新世(包括古新世-始新世极温暖期，Paleocene-Eocene thermal maximum, PETM)， $IRM_{1.0/0.1T}$ 比值正向漂移至~7，表明碎屑成因赤铁矿含量的相对增加，这种温湿气候下增强的化学风化速率会显著促进碎屑成因赤铁矿的形成、搬运与沉积过程(图 3)。气候与沉积物中铁氧化物形成的这种时间耦合性与在近代土壤中观察到的风化过程类似。岩石磁学与气候数据的这种一阶相关性与前人提出的缓冲地表温度变化的负反馈机制具有一致性。

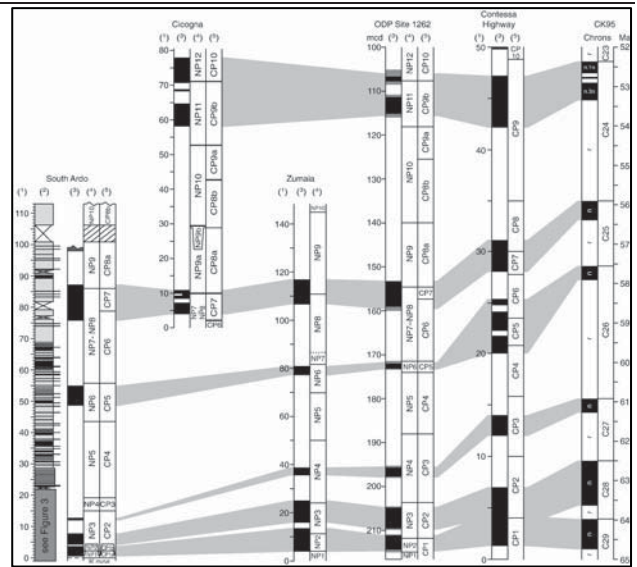


图 2 South Ardo 剖面的磁极性-生物地层学结果及其与相关剖面的对比

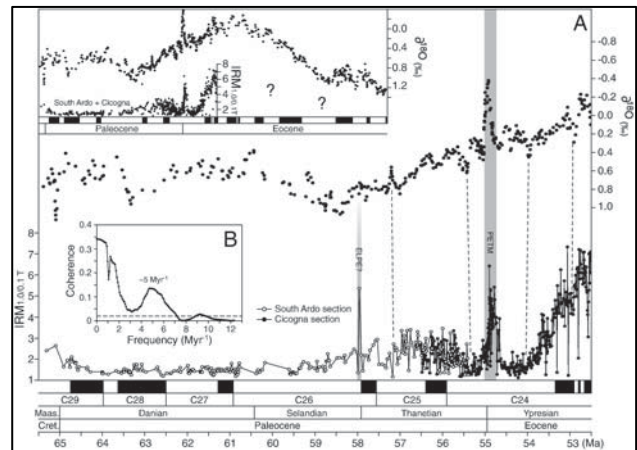


图 3 古新世-早始新世 Belluno 盆地的 $IRM_{1.0/0.1T}$ 数据与 $\delta^{18}O$ 气候指标的对比

参考文献:

Dallanave, E., Agnini, C., Muttoni, G. & Rio, D., 2012. Paleocene magneto-biostratigraphy and climate-controlled rock magnetism from the Belluno Basin, Tethys Ocean, Italy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 337-338:130-142

巴西中部 Aeguinha 复杂冲击结构的磁组构: 对于变形机制及中央隆起形成的指示

赵杰

小行星和彗星撞击地球表面形成的陨石坑是影响岩石行星表面特征的主要过程之一，最大规模类

型的陨石坑具有一个包括中央隆起地带、环绕中间隆起地带的中间盆地以及外围的环状隆起带的复杂几何结构,与复杂的冲击结构相伴生的冲击减弱机制是目前具有争议的科学问题之一。目前主要存在摩擦融化、声流化以及动态断层等机制来解释岩石的变形机制,将这些模型综合数值模型都会产生相似的撞击坑地貌,但不同的机制会造成不同空间的尺度上(微观及宏观)产生不同类型的结构,以及不同的岩石变形分布(局部或整体)。

巴西 Araguainha 冲击坑,出露有一个直径 40 km 的复杂冲击结构,其中心部分主要由花岗岩组成,是研究该问题的理想场所。本文对中央高地进行了包括 190 个观测点的详细测绘,并对不同岩石单元进行了系统采样之后用于矿相学及磁学研究,对来自中央高地不同单元用于岩相学研究的样品进行加工,得到 50 个薄片;用于磁学研究的样品用便携式岩石采集,共有采点 42 个,每个采点包括 2-4 个直径 2.5 cm 的圆柱状岩心,岩心被进一步切割加工成 2.2 cm 高的圆柱状样品,共得到 387 个用于磁学研究的样品。

岩相学及显微结构观察认为:所有的花岗岩样品具有碰撞相关的平面变性特征及平面裂纹,并由碎裂作用的叠加。在中间地带,碎裂变形程度由最初的脆性破坏发展到离散的塑形剪切。小于 $10\ \mu\text{m}$ 的磁铁矿及赤铁矿颗粒沿断裂面系统地分布。

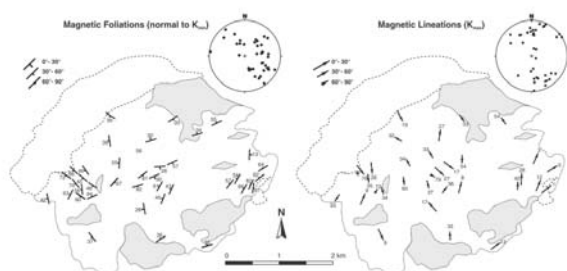
岩石磁学部分开展了热磁曲线、磁滞回线、IRM 获得曲线实验,几个样品的热剩磁曲线与磁滞回线显示,花岗岩磁化率数量主要由顺磁性基质控制,该显著的顺磁性信号也被五块样品的磁滞回线在 1500 mT 的场强下远没有达到饱和所证实。岩石的磁性各向异性结果表明尽管在有些样品中顺磁性对于总体磁化率具有很大的贡献,对于所有研究点,磁化率的方向和剩磁椭圆总是同轴的,这意味着由铁的氧化颗粒装饰的微观碎裂和碎裂带的分布的与 AMS 确定的主导组构平行,因此我们可以通过磁化

率各向异性及非磁滞剩磁来追踪能由铁的氧化物反应的变形特征。磁组构的结果如图一所示,其在中心峰的边缘具有与中心环带中沉积物一致的沉积组构,在中心很复杂。

基于以上观察,结合地质资料作者讨论了 Araguainha 陨石坑的变形机制。首先是摩擦融化模式,虽然 Araguainha 一些破裂具有融化淬火的痕迹,但中心地带熔化的量不足以吸收陨石坑形成过程中消减的能量。第二是碰撞过程中被撞击岩石高速的滑动,虽然在 Araguainha 花岗岩核心与上地壳岩石之间具有断层分布格局,但是花岗岩核心内部并没有发现大尺度的断裂或者断层活动来支持这里机制,另外该模式是在更大规模的陨石坑(100 km)的研究中发展起来的。第三为热力软化机制,在该机制下,被撞击岩石必须要被加热到固液面并且会造成比摩擦融化减弱机制更为普遍的变形格局,但是据前人的研究, Araguainha 陨石坑规模的陨石坑形成时,没有足够冲击加热能使得花岗岩核心达到或者高于固液面,冲击加热机制适用于直径大于 200km 的陨石坑。最后作者提出 Araguainha 陨石坑的减弱机制可能为声流化减弱机制,声流化减弱机制的基础思想是基于以下的事实提出的:库伦材料(Coulomb material)对于施加过度的压力将会一个线性的压力,如果整体能量的部分以波长短的弹性波的形式释放,形成摆动,而当压力不能达到库伦材料的阈值时,将不会出现这样子的情况。最初的声流华机制被简化成在一维块体模型沿某个表面滑动。几个大型冲击坑中的结构观察也支持大型块体之间的滑动模式,将该模型与数值模拟相结合产生非常好的地貌形态。

作者通过分析所观察到的微结构观察及磁学研究数据得出了以下结论:(1)花岗岩样品具有碰撞相关的平面变性特征及平面裂纹,并叠加了碎裂作用;在中间地带,碎裂变形程度由最初的脆性破坏发展到离散的塑形剪切。(2)磁化率各向异性及非

磁滞剩磁的磁线理及磁面理方向具有共轴分布的特征, 可以通过其来追踪能由铁的氧化物反应的变形特征。(3) 磁组构在中心高峰的边缘具有与中心环带中沉积物一致的沉积组构, 而在中心变得很复杂。岩相学及微结构的结果与磁化率各向异性结构分布格局的结果都与复杂冲击结构的数字模型预测结果相一致。(4) 在中心峰处广泛出露的碎裂作用和由磁学研究所揭示的方向共同指示声流化作用 (acoustic fluidization) 影响到包括矿物尺度的所有尺度, 并且造成了在核部宏观的塑形变形。



图一: Araguinha 花岗岩 AMS 组构分布格局: (A) 磁线理 (平行于磁化率最大轴 K_{max}) (B) 磁面理 (垂直于磁化率最小轴)。面理 (圆圈) 及线理 (方框) 极位置下半球赤平投影

参考文献:

E. Yokoyama et al. Earth and Planetary Science Letters 331-332 (2012) 347-359

玄武安山质岩墙的双极性方向——反转记录 或者自反磁化

陈力为

西藏-喜马拉雅造山带的演化研究对研究地壳抬升和相关气候变化具有很重要的意义。古地磁通过古纬度对比为碰撞的年代提供直接约束。其中获得有效古地磁数据的一个必要标准是平均地磁场长期变得问题。正反极性的记录可以用来有效平均掉长期变, 但要注意的, 它也有可能是有自反磁化造成的。

林周盆地林子宗群 T1 单元发育有一期玄武安山质岩墙群, Liebke et al. (2010) 从 14 条岩墙里采集了 17 个采点。岩石磁学结果发现有贫钛和富钛的钛磁铁矿两种主要磁性矿物, 并且在单个采点内发现有双极性情况的出现。首先讨论下自反机制, 主要有 2 种: 单相和多相; 单相机制里又分为 N-type 和 ionic reorder 机制。N-type 的原理是: M_s 是由 MA-MB 合矢量给出 (A 是四面体晶格, B 是八面体晶格), 不同温度下, MA-MB 此消彼长 (图 1), 从而改变了 M_s 的方向; ionic reorder 是由富钛-钛磁铁矿的低温氧化造成的。 Fe^{2+} 优先占据八面体位置, 并且扩散至晶格表面, 造成 B 子晶格的空缺, MB 将减小, MA-MB 将随之改变符号 (Fig. 1)。多相机制, 是由不同的铁磁矿物间的静磁相互作用造成的。例如非氧化钛的钛磁铁矿和氧化的钛磁铁矿。

从岩墙的热磁曲线中可以看到富钛和贫钛磁铁矿两种矿物的组成。加热\冷却曲线的结果和退磁实验可以表明在这两种磁性矿物之间没有磁耦合作用, 以及排除了富钛磁铁矿在加热时被破坏带来的效果。另外反射光显微镜里 (图 2) 可以看到这些岩墙里有两种颗粒: 20-100 (μm) 的粗颗粒贫钛磁铁矿和约 10 μm 的细颗粒富钛磁铁矿。细颗粒和粗颗粒相比如其氧化得更深, 而且是各向同性的。两者之间并无相互接触, 因而可完全排除超交换的相互作用。从而, 多相自反磁化是不太可能的。对于单相自反磁化里 N-type 机制而言, 进行了 SIRM 和 M_s 分别随温度变化的实验, 但是并没有从实验图中发现理论拐点。因此 N-type 类型也可以被排除。另外一种可能性是检验 ionic reorder 的存在性。反射光显微结果揭示了富钛磁铁矿没有或者轻微被氧化了。而且要注意的事, 这种机制只有在 $x > 0.6$ 的富钛磁铁矿里才发生。近来有研究表明, $x > 0.65$, 低温氧化 ≥ 0.95 的钛磁赤铁矿里也有可能发生磁性倒转。但是这些都被岩墙的元素分析排除可能了。

因此这些林子宗群的岩墙单个采点内记录到的

双极性方向不是自反倒转导致的，而是地磁本身倒转引起的。岩墙冷却模拟实验里，针对 10 m 宽的岩墙，冷却时间只有 500 年，很难想象在这么短的时间内，会发生地磁倒转。因此可以推断，这些岩墙很有可能是在好几个岩浆作用期次下形成的。

古新世-始新世极热事件期间趋磁细菌对南极尘土响应的研究

吴文芳

趋磁细菌是指一类能在体内通过控制矿化合成链状排列的纳米级磁铁矿或胶黄铁矿颗粒（称为磁小体）的原核生物总称。产磁铁矿磁小体的趋磁细菌通常为微好养菌或硝酸盐还原菌，分布在氧化-还原界面（OATZ），如在水柱、沉积物-水的界面、沉积物表面等环境中都有发现。当趋磁细菌死后，体内的磁小体颗粒聚集并保存下来，称为化石磁小体。由于趋磁细菌需要特定的氧化还原条件，保存下来的化石磁小体可以作为记录古环境变化的载体，如趋磁细菌化石磁小体被广泛应用在第四纪冰期-间冰期气候变化和有机碳供应导致的氧化-还原条件变化的研究中。然而，正是由于化石磁小体的形成和保存环境特殊，如持续的氧化环境会抑制趋磁细菌磁铁矿矿化，而在厌氧条件下磁铁矿磁小体又极易被还原溶解，从而导致海洋沉积物中第四纪之前的化石磁小体记录很少发现。古新世-始新世的极热事件（PETM）是一个特例，这段时间（约 56 Ma）对应全球气候的变暖，学者们在此期间发现了大量的生物成因磁铁矿颗粒，并给出相应的解释：温暖湿润的环境有利于物源有机碳和铁的供应，为趋磁细菌的繁殖提供了大量物源。然而化石磁小体与 PETM 的对应同时也暗示了其保存环境的特殊，而且即使有 OATZ 环境的存在，细菌磁铁矿的信号中也会同时叠加一个后沉积信号。为了更好的理解 PETM 和细菌磁铁矿的关系，最近 Larrasoña 等[1]综合利用系统的岩石磁学、透射电镜（TEM）铁磁共振（FMR）等方法，对 southern Kerguelen Plateau（SKP）的 ODP 钻孔 738C 深海沉积物中的载磁矿物种类、粒径和磁畴、C 同位素、碳酸盐含量等进行了详细研究。沉积物对象时间范围涵盖了 PETM 之前、期间和之后一段时间。

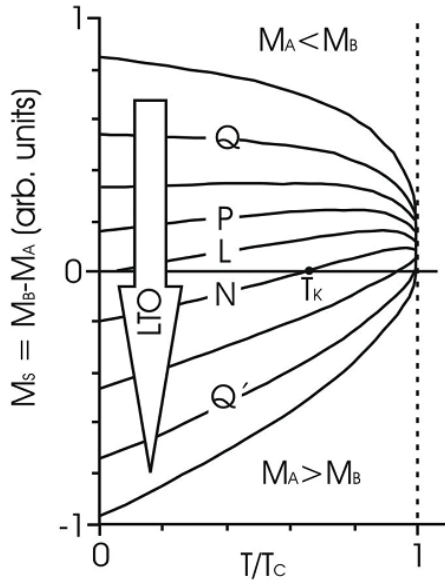


图 1 随着钛磁铁矿低温氧化程度的增加， M_s - T 曲线的不同类型，其中， M_s : 自发磁化强度， M_A , M_B : 钛磁铁矿子格的自发磁化强度

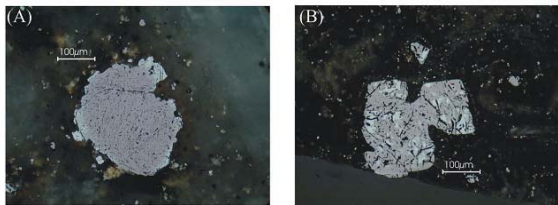


图 2 部分氧化的钛磁铁矿的显微照片
(A)主要沿边部氧化，在氧化部分和未氧化部分之间有个平稳过渡；(B)在颗粒内部发生氧化，氧化与未氧化部分之间存在急变

参考文献:

U.liebke., E.Appel., U.Neumann., L.Ding. 2012. Dual polarity directions in basaltic-andesitic dykes—reversal record or self-reversed magnetization? *Geophysical Journal International*. 190, 887-899.

结果显示, C 同位素飘移 (CIE) 开始于 ~ 285.5 mbsf, 表现为 $\delta^{13}\text{C}$ 值迅速减小(图 1a), 最轻的 $\delta^{13}\text{C}$ 值出现在 ~ 285.2 mbsf; 碳酸盐含量在 CIE 之前呈高值, 在 CIE 刚开始时快速降低(图 1b); S-ratio 值分布在 0.97-1 之间, 表明载磁矿物以磁铁矿为主(图 1c); 同时磁铁矿含量增加也对应了更轻(c 事件)或更重(h 事件)的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 而磁铁矿含量的降低则仅对应了更轻的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(d, f 事件); x_{ARM}/x 值分布在 5-25 之间(图 1e), 与 SD 磁铁矿一致; 同时 CIE 的开始(d 事件)对应了颗粒的变粗, 而在 h 事件时对应颗粒变细; HIRM 值在 PETM 之前、之后和期间的很多时间段都分布在 $0-1 \times 10^{-6} \text{Am}^2/\text{kg}$ (图 1g), 同时早期研究表明高矫顽力组分主要是赤铁矿[2]。将磁滞参数投入 Day 图, 落在 SD (60-90%) 和 MD (30-10%) 混合的 PSD 区域。FORC 图显示样品的矫顽力分布在 17-30 mT, 为典型的无相互作用的粒径分布窄的 SD 磁铁矿颗粒特征。FMR 图中 6 个尖锐的峰和 10 个弱峰表明样品中含有 Mn, 经过平滑消除 Mn 影响后, 计算得出样品的 g_{eff} 为 1.97-2.05, 与前人发表的磁细菌磁铁矿的 g_{eff} 值 (< 2.12) 一致; A 值也明显低于 1, 表明 FMR 谱向低场偏移。Kopp 等[3]曾对趋磁细菌进行了详细的 FMR 研究, 发现细菌成因磁铁矿 α 值 ($\alpha < 0.25$) 与非生物成因 ($\alpha > 0.40$) 明显不同。本次作者也发现, α 值为 0.24-0.28, 表明沉积物中有大量的趋磁细菌磁铁矿存在。TEM 观察和选区电子衍射 (SAED) 以及能量散射 X 射线谱 (EDX) 都一致显示样品中含磁铁矿。磁铁矿颗粒的大小为 30-220 nm, 颗粒呈八面体、立方-八面体和六棱柱形状, 与典型的趋磁细菌磁小体颗粒一致。以上这些结果一致显示 ODP738C 孔沉积物中的磁性矿物主要以保存完好的化石磁小体磁铁矿为主, 并含有赤铁矿颗粒。

在消除碳酸盐影响 (CFB, carbonate-free basis) 的基础上, 通过 ARM-CFB 和 HIRM-CFB 值可以计算出磁铁矿和赤铁矿相应的含量。在 CIE 之前,

HIRM 值为 $0-1 \times 10^{-5} \text{Am}^2/\text{kg}$, 之后在 CIE 刚开始时迅速上升, 并持续至 f 事件, 最后又逐渐下降到背景值 $0-1 \times 10^{-5} \text{Am}^2/\text{kg}$ 。在 ODP738C 孔很多证据, 如浊积流的缺失、Princess Elizabeth 海沟的存在以及 SKP 至少在 85 Ma 就已下沉等, 都显示赤铁矿的物源不是河流供给。同时 738C 孔的陆源沉积物中有粘土矿物, 这些粘土矿物和赤铁矿的物源很有可能是风成尘土。对于风成赤铁矿, 最可能的解释是, 由于在 PETM 期间全球温度升高, 引起南极大陆附近干旱所致。类似的情况在北非 Dababiya PETM 段也有发现, 相对河流输入, 风成尘土输入的增加也是对应了气候变干旱。综合以上结果显示, 虽然在整个 PETM 期间全球水循环增强, 但至少 CIE 初始期间大陆经历的干旱的气候。作者还进一步指出在 PETM 期间水圈对全球变暖的响应, 即使在局部或季节等小尺度上也是多变的。同时, 在 CIE 之前、期间和之后沉积物的载磁矿物都是化石磁小体主导, 这一发现否定了早前解释的 PETM 段化石磁小体存在是由于其保存条件的特殊。除了事件 c-e 和 h, 外, 磁小体含量和赤铁矿的丰度一致暗示这段期间存在一个持续可靠的磁小体产出, 在沉积物-水界面以上或附近已经发育完好的 OATZ 界面供趋磁细菌生存。同时在 ODP738C 孔磁铁矿和赤铁矿被完好的保存下来, 这也表明当时的铁还原环境较为温和, 从而导致相对不稳定的含铁矿物如水铁矿、针铁矿等在 CIE 之前、期间或之后被溶解掉, 而磁铁矿和赤铁矿得以保存。此外, 在 CIE 大部分时间段, 磁小体磁铁矿和赤铁矿含量的对应, 也表明趋磁细菌对风成输入以及伴随的可利用溶解铁增加的快速响应。虽然在世界其他海洋中也有发现化石磁小体记录和风成尘土的同时发生, 然而他们之间的这种潜在因果关系常被忽略。最后, 作者还指出, 这个机制适用的前提是, 铁是初始生产力的关键性限制营养元素, 对于初始生产力并非受铁限制的环境如沿海、局限海盆等, 这个机制并不适用。同时, 还需要对世界范围的 PETM

段进行详细的 TEM 和岩石磁学研究, 从而真正理解古环境和成岩二者之间的相互关系对深海沉积物化石磁小体形成和保存的影响机制。

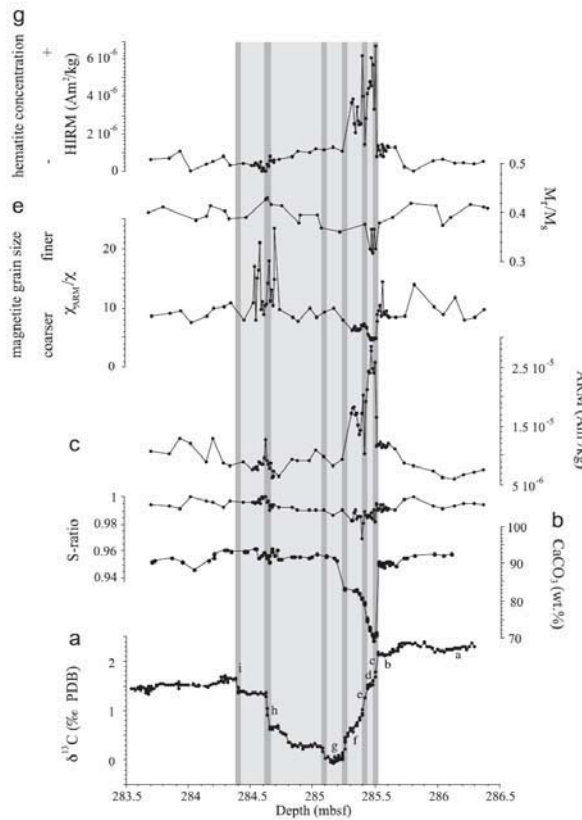


图 1 ODP738C 孔 PETM 期间沉积物的 (a) C 同位素, (b) 碳酸盐含量, (c) 矿物学 (d,g) 磁性矿物含量, 和 (e, f) 磁性矿物粒度的变化图。

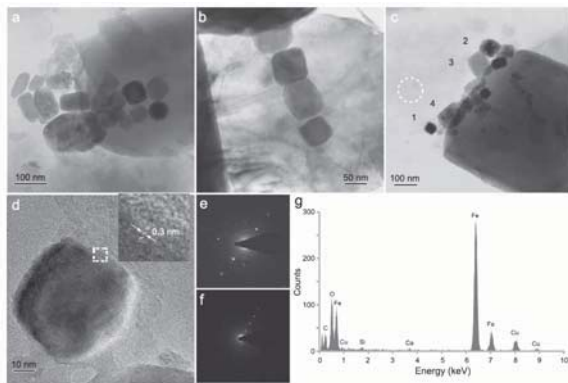


图 2 ODP738C 孔沉积物磁分选后样品的透射电镜图。其中 (a, b, c) 为短链状化石磁小体; (d) 为 (c) 图中颗粒 1 的高分辨率图; (e, f) 为 (c) 图中的颗粒 1 和颗粒 2 的选区电子衍射图; (g) 为 (c) 图中颗粒 3 的能量散射 X-射线谱图。

参考文献:

1. Larrasoña, J.C., et al., *Magnetotactic bacterial response to Antarctic dust supply during the Palaeocene–Eocene thermal maximum*. Earth and Planetary Science Letters, 2012. 333: p. 122-133.
2. Roberts, A.P., et al., *Magnetotactic bacterial abundance in pelagic marine environments is limited by organic carbon flux and availability of dissolved iron*. Earth and Planetary Science Letters, 2011. 310(3): p. 441-452.
3. Kopp, R.E., et al., *Chains, clumps, and strings: Magnetofossil taphonomy with ferromagnetic resonance spectroscopy*. Earth and Planetary Science Letters, 2006. 247(1-2): p. 10-25.

变质岩中的磁性矿物及其古地磁研究

闫永刚

二十世纪五十年代以来, 我们逐步利用视极移曲线帮助我们重建了世界海陆格局的地质演化历史, 现在我们已经认识到, 大陆视极移曲线的建立是了解大陆演化历史及其与其他大陆相对位置关系的关键。从稳定克拉通内部未变质岩石中获得的古地磁极位置相对更直接也更可靠, 而从造山带内岩石单元中获得的古地磁极位置由于其多磁组分特征、年代不能精确确定等原因而使得其可靠性变得不那么明确。

尽管很重要, 但确定造山带中岩石单元记录的剩磁信息的年龄, 用于重建当时古地磁极相对位置关系仍然很困难。从野外构造能够清楚确定的、有稳定剩磁和精确年龄控制的岩石单元中得到的古地磁极可以作为视极移曲线建立过程中的关键点 (key poles), 造山带中能够获得关键点的变质岩石单元目前为止仍然是非常少的。

这里我们介绍 Grenville 造山带纽约 Adirondack 高原的三个岩石单元详细的古地磁研究的结果, 这三个岩石单元包括远西高原砂线石化微

斜长石片麻岩、纽约州马西山块体麻粒岩级别的变斜长岩及相关岩体和后造山铁橄榄石花岗岩。这些不同岩石中获得剩磁的年龄是从已发表的相关岩石冷却曲线中估算得到的。

1. 构造背景

晚元古代, 劳伦大陆是 Rodinia 超大陆中心的一部分, 为了确定 Rodinia 超大陆的形成和演化历史以及 Rodinia 超大陆存在的时间, 确定各个克拉通详细的精确的视极移曲线以及它们相对于劳亚大陆的位置及运动过程是必要。

从斯堪的纳维亚到澳大利亚, 多个克拉通都经历了 Grenville 期造山运动, 也由此形成了 Rodinia 超大陆。北美东部的 Grenville 地区从东北部的南拉布拉多延伸至西南部的休伦湖, 一直以来被划分为一系列具有不同年龄、组成和变质等级的条带, 经受了中元古代克拉通化和区域变质。

纽约 Adirondack 山是 Grenville 东南方向的延续, 与圣劳伦斯河谷以北的墨林地区, 组成了麻粒岩变质带的中部, Adirondack 可以分为高地区和低地区两部分, 高地区主要是由麻粒岩相变质火山岩组成, 包括斜长岩套和相关的纹长二长岩、紫苏花岗岩和花岗岩 (AMCG), 低地区主要由角闪岩相的变质沉积岩和变质火山岩组成。与其东部代表 Grenville 基底的阿巴拉契亚地区不同的是, Adirondack 高原没有经受明显的古生代变质变形作用, 代表了 Grenville 造山旋回的矿物组成和结构特征。

Adirondack 高原主体的 AMCG 岩石组合在在约 1.15 Ga 的造山作用中侵位于正片麻岩围岩之中, 其后 60-100Ma 又发生了一系列变质变形作用, 这时候高原岩石变质条件达到了麻粒岩相, 变质温度峰值达到 800°C, 压力到达 8 kbar, 其后是一系列的褶皱造山作用和降温过程。

2. 样品

从西到东穿越 Adirondack 高原变质岩石出露

区域系统采样, 共有 45 个采点, 每个采点有 3-10 个样品, 由汽油动力钻机原位钻取或采集手标本实验室钻取样品, 其中 23 个采点提供了可测量的磁性信息, 且退磁良好。

微斜长石片麻岩 (GMS) 中, 出溶微结构含有薄片状钛铁矿、金红石、尖晶石、红钛锰矿等矿物, 薄片厚度微米至纳米级, 比如在含钛铁矿出溶结构的赤铁矿样品中, 透射电镜观察到出溶薄片厚度几微米至一纳米, 而钛铁矿晶格大小为 1.4 nm。(图 1a, b, c) 对于含有富含出溶微结构的含钛铁矿出溶结构的赤铁矿的样品, 其 NRM 为 5-8 A/m, 而样品中含钛赤铁矿且出溶微结构很少 (主要是金红石薄片) 的样品, NRM < 0.2 A/m。含钛铁矿出溶结构的赤铁矿是 GMS 样品中主要的氧化物, 磁铁矿或是没有或是少量残存于次生磁赤铁矿中。

变斜长岩和辉长岩中普遍含有 ~0.5% 的氧化物, 但含量有较大变化。大量样品中为粗粒多畴磁铁矿颗粒, 一般直径 0.5-1.0 mm, 和假单畴磁铁矿。大的磁铁矿颗粒中含有针状尖晶石和小的钛铁矿出溶薄片。除了磁铁矿, 大量斜长岩中还含有含赤铁矿出溶结构的钛铁矿, 出溶赤铁矿薄片很小, 一般不足 1 微米厚。还有一些斜长岩样品中含有上述磁铁矿和含有赤铁矿出溶薄片的含铁钛铁矿。一些斜长岩样品中, 含赤铁矿出溶薄片的钛铁矿和磁铁矿-钛铁矿在大的斜长石晶粒中包裹赋存。(图 1d, e, f)

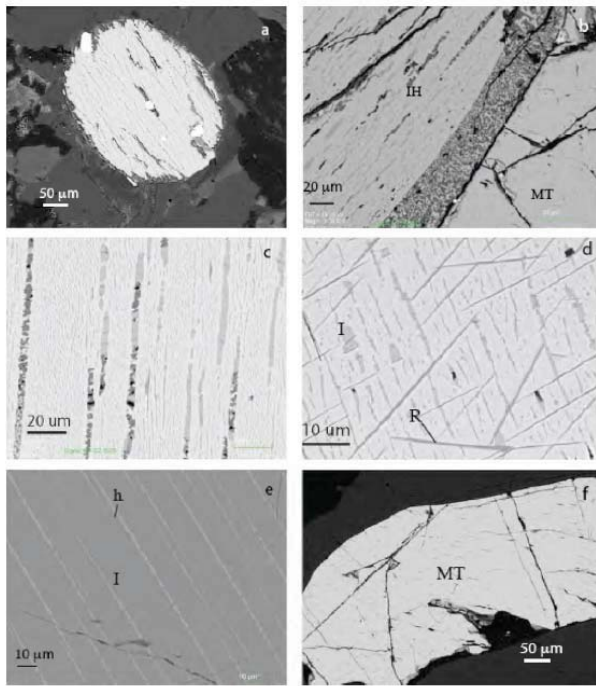


图 1: 电子背散射扫描图像。

- a) 含出溶钛铁矿的赤铁矿颗粒，亮白色的包裹体是独居石。
- b) 钛赤铁矿中赋存含出溶钛铁矿片晶的赤铁矿，磁铁矿边界生长赤铁矿(白色)、金红石(灰色)和尖晶石(黑色)。
- c) 含有两个世代出溶矿物的赤铁矿，较大的第一世代钛铁矿片晶中又出溶尖晶石、金红石等矿物。
- d) 钛赤铁矿中含有针状金红石、钛铁矿和尖晶石。
- e) 钛铁矿(I)中出溶赤铁矿片晶(h)；
- f) 大颗粒磁铁矿和稀少尖晶石。

3. 古地磁结果

古地磁方向可以分为三个变质单元(微斜长石片麻岩, 斜长岩和相关岩石)和变质后铁橄榄石花岗岩。

Rock unite	N	INC	DEC	k	a_{95}	Pole	Dp/Dm
Microcline gneiss	14	-62.8	289.2	29	7.6	-18.4,151.1	9.3,11.8
Metamorphic anorthosites	11	-65.4	282.9	25	9.4	-24.0,151.6	12.3,15.2
Other metamorphic rocks	3	-74.1	289.5	99	15.2	-30.5,127.5	26.4,27.9
Combined meta.rocks	14	-67.3	283.9	28	7.7	-25.1,149.0	10.6,12.7
Fayalite granite	8	-75.8	297.0	199	3.9	-28.4,132.7	6.7,7.2
All sites	36	-67.5	288.3	32	4.3	-23.2,146.7	6.0,7.2

我们可以看到微斜长石片麻岩和变斜长岩中记

录的倾角要比其周围相关变质岩石单元和后期铁橄榄石花岗岩浅 5-6°。

实验表明, 大部分变质岩和变质后岩石保留了较强较稳定的剩磁信息, 样品退磁过程中只有一个方向磁分量, 斜长岩中叠加的接近现代地磁场方向的第二分量在低交变场或 400-525 °C 温度下清洗掉, 最终获得的方向, 无论是变质岩石还是变质后岩石单元, 都明显不同于现代地磁场方向, 也不同于现在已知的古生代或更年轻的地磁场方向, 岩石薄片透射光和反射光观察, 以及透射电镜观察, 几乎没有证据证明发生了明显的化学转变, 所以可以认为应该保留了变质温度降低以后保留的原生剩磁。

构造磁学研究中总是存在着后期构造事件的影响引起块体旋转或倾斜变化的可能性, 从而造成原始方位的变化。然而 Adirondack 高原代表了最后一期构造活动事件, 没有经历后期的变形, 其周围没有广泛的断层指示其发生过旋转或倾斜变化。

基于以上认识, 可以假设从 Adirondack 高原获得的变质岩石单元中的地磁场方向代表了 1050 Ma 高级变质作用后冷却过程中获得的特征剩磁信息。研究发现, 以上几个岩石单元中均发现了正反两种极性的磁性记录, 且正极性样品集中在高原中心地带, 负极性样品来自高原的东西两侧, 从而指示了高原的冷却历史, 即高原不同地区冷却过程中经过磁性获得温度 (~570-450 °C) 的时间不同。

变质岩构造磁学研究的最大难点是剩磁年龄的确定, 尤其是在经历了多期次变质变形作用的地区。确定年龄的方法主要由两种, 一种是通过特定矿物的同位素体系, 即使用一种封闭温度接近于磁性载体矿物阻挡温度的同位素体系来确定年龄, 最常见的是利用角闪石中的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 体系, 因为其封闭温度接近于低钛磁铁矿的阻挡温度。另一种方法是利用同一个地区多个同位素体系研究获得的冷却曲线, 对比于相应氧化物相的阻挡温度。而两种方法

都需要明确知道其载磁矿物是什么, 针对不同矿物相获得的年龄是不同的; 如果载磁矿物是低钛磁铁矿之类的矿物, 阻挡温度确定为 $560\sim 570^{\circ}\text{C}$ 是可以接受的, 但如果载磁矿物是出融钛铁矿-赤铁矿薄片这一类的矿物相, 其剩磁获得温度就要更低, 其剩磁获得年龄就要比磁铁矿估计的要年轻。

研究认为, Adirondack 高原在 1050 Ma 达到温度峰值约 750°C , 峰值压力约 7-8 kbar。关于冷却速率, 有着不同的认识, 有人提出均匀降温模式, 约 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{my}$, 那么约到 930 Ma 可以降低到 $\sim 570^{\circ}\text{C}$, 也有人提出初始降温速率可达 $20^{\circ}\text{C}/\text{my}$ 的快速阶段和之后长时间的慢速率降温过程的模式。

以 520°C 作为出融钛铁矿的赤铁矿的化学剩磁获得温度, $\sim 570^{\circ}\text{C}$ 作为磁铁矿热剩磁获得温度, 利用 Adirondack 高原不同地区冷却曲线, 研究得到了花岗岩剩磁获得年龄 ~ 990 Ma, 斜长岩剩磁获得年龄 ~ 970 Ma, 微斜长石片麻岩剩磁获得年龄 ~ 960 Ma。以最小估计值 420°C 计算微斜长石片麻岩获得剩磁年龄, 确定这个极的年龄为 940 Ma, 以此建立的劳伦大陆晚元古代视极移曲线, 支持了 Grenville 视极移曲线逆时针演化模式 (图 2)。

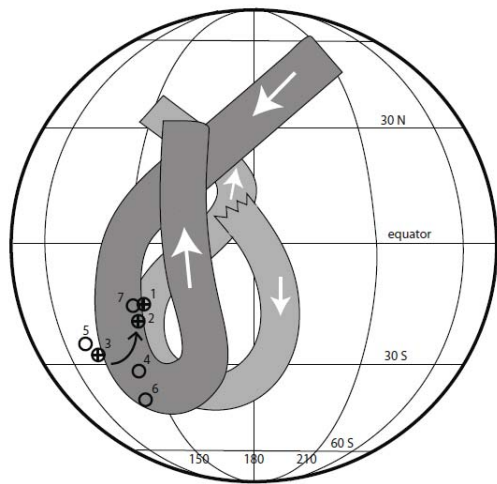


图 2: 劳伦大陆元古代 ($\sim 1100\sim 740$ Ma) 视极移曲线的两种模式。浅灰色顺时针运动模式 (Hyodo and Dunlop 1993), 深灰色逆时针模式 (Weil et al 2006)。本次研究得到的古地磁极以带十字心的圆标示, 其他来自 Grenville 岩石单元的古地磁极位置以空心圆标示。箭头表示了视极移曲线运动

方向。

参考文献:

Brown, L., and S. McEnroe (2012), Paleomagnetism and magnetic mineralogy of Grenville metamorphic and igneous rocks, Adirondack Highlands, USA, *Precambrian Research*.

文化动态

谈压力

科研中的压力, 像空气一样围绕着大家。能感觉的到, 却看不到。正是如此, 一千个学生中有一千种认识。就个人而言, 这种压力源于科研本身的困惑和自身身体感受。科学研究旨在探知人类未知的奥秘, 在这个求知的过程中, 不可避免的碰到各种困惑。当个人无法解释这些奥秘就会产生一定的压力。当奥秘得到解答后, 压力也随之消减。如果要减轻这种压力, 就要不断产生这种积极的反馈, 即在科研中不断寻求小的突破点, 形成刺激, 进而获得更大的成功, 逐渐减弱这种科研压力。【段宗奇】

说句实话, 导师让我们谈压力, 这本身就是个压力。说没压力吧, 那是假话; 说扛压力吧, 那是无奈的话; 说什么调整心态, 平衡压力, 那是梦话; 至于说压力带来动力的, 就是源源不断给别人带来压力的压力源说的话。

鉴于此, 我还是推心置腹地说说我认为为什么会有科研压力和我是如何面对压力的。首先, 作为一个能认识现实的理想主义者, 我认为只有把科研当作任务和工作的, 才有所谓“科研压力”。其实这里的“科研压力”等同于“职场压力”。如果你真心喜爱科研, 真心对领域内未知的事物感兴趣, 那科研应该是享受, 就像看美剧, 看球赛, 打游戏一样。虽然你会关注美剧的结局, 球赛的胜负, 但那是

未知的一种期待, 如果符合自己的期望, 则锦上添花; 不符合, 也只是叹口气。当然, 可能大多数情况下, 科研只是个工作, 是个给自己带来名利的工具, 因而虚荣, 竞争, 势利这种职场中的常客便成了主导, 压力就应运而生。面对这种压力, 是没有解决方法的, 只有发泄方法, 境由心生, 无能为力。

对我个人来说, 我的压力来源于理解的偏差, 完美主义和对别人过高的要求。一直认为, 只有对人类做出了可预见贡献的工作才能算上真正的科研, 所以当能力不及时, 便灰心丧气, 怨天尤人。现在想想, 应该是一个浮躁的心态。只要踏踏实实做事, 即使只是数据的积累, 对科学来讲, 也是不可小觑的贡献, 如能抱着这种心态, 可能心会轻松很多。再者, 沉浸在自己建构的一个理想世界规则里, 难免对周遭的人有不应该的要求。微生物尚且都有多样性, 更别说有思想的人类了。既然如此, 多一分理解应该是一件利人利己的事情。有文章说, 中国唯一的贵族是谭嗣同, 他虽然生于安乐富足之家, 却仍能悲天悯人。换句话说, 一个沦落的人时时怜悯弱者, 痛恨强权这没什么。当他享有资源时, 还能怜悯弱者, 寻求公正, 痛恨强权, 才算得上一个真正的贵族。现实是, 我们其实并不需要太多贵族, 但多分理解还是急需的。少点抱怨, 降低对他人的要求, 压力自然也会少很多。

俗话说量变引发质变。人人爱科研, 不现实; 人人认真做科研, 将来便可爱科研, 也是不错的选择。当你的“科研压力”是“职场压力”时, 这是你为出人头地必须付出的代价; 当你的“科研压力”是一种自我压力时, 宽容自己也宽容别人应该是个不错的药方。【胡鹏翔】

不知道从什么时候开始, 压力成为了人们谈论最多的一个词, 随之派生出了一系列的词, “压力山大”……, 于是人们失眠、焦虑、抑郁了, 连“鸭梨”也跟着火了! 人们开始不停地抱怨, 将这压力推给社会, 推给家庭, 推给一切的外在因素。但是

追根溯源, 压力源于责任和欲望。

现在大家聚在一起经常会讨论长大是多么令人烦恼的一件事情, 小的时候是多么的幸福。细细想来, 我们童年时候的幸福多半源于那份无忧无虑和不知责任为哪般的童真。但是随着年龄的增长, 我们逐渐背负了很多来自家庭和社会的责任。为了不让家长失望而加到自己身上的压力, 从小学到高中逐段地飙升。工作了成家了, 对父母对家庭的责任更让我们倍感压力, 同时还增加了另一个挥之不去的责任, 那就是对社会的责任, 简言之是对你社会角色的一种责任。有的人会羡慕那些处于高位的人, 觉得他们每天风光无限, 可是不在其位怎知他们所承受的常人无法想象的压力, 风光背后更多的是默默地忍耐和强大的内心。就我们而言, 也许毕业、找工作会给我带来很多压力, 但这也是源于我们的那一份责任。

另一个因素, 便是欲望。生活本来很快乐, 可是你的欲望多了, 攀比多了, 压力无形增长, 快乐也会慢慢地离你而去。看到别人有的, 自己也要有, 还要比他们更多。其实适度的攀比或者所谓的欲望并不是什么坏事, 这可以激发我们的斗志和上进心, 但是, 凡事有度, 一旦越过这个度, 一切就会发生质的改变, 于是每日笼罩在自己所加载的无形压力之下, 喘不过起来, 焦虑、抑郁等一切负面情绪也随之而来。

人生苦旅, 痛苦与压力本是如影随形, 因为我们不可能没有责任, 无欲无求, 但是要学会化解压力, 享受痛苦。其实压力也有积极地一面, 促使我们上进, 强大我们的内心, 历练我们的意志。凡事带给我们的压力越大, 一旦成功之后, 我们的成就感就会越强。所以, 适当地对自己好一点, 不要太过苛求自己, 给自己找一个平衡点, 这样我们会生活得更自如。【姜兆霞】

无论是在日常的学习还是生活中, 我们每个人都都要时不时地面对来自各方面的压力。“福无双至,

祸不单行”，“人倒霉了喝凉水都塞牙缝”这是我们平时经常听到的说道，那么当压力降临到我们头上的时候，我们应该怎么应对呢？

“扛，死扛，往死里扛！”我觉得这就是最好的应对办法，人生在世要酸甜苦辣都尝一尝，这才不枉来世上走一遭，这样的人生才叫丰富多彩。所以，当我们这一次能扛得住 1000 N 的压力时，下一次 800 N 的压力对我们来说就不会有那么重，可以从容地面对。

其实有时扛得住与扛不住只是瞬间的变化，这就要求我们有坚强的毅力，当我们临近扛不住或崩溃的边缘时，就要咬咬牙对自己说“再坚持一下……”诸如此类的话，鼓励自己，告诫自己千万别倒下，因此我们要使自己有坚强的心志。

人有享不了的福，没有受不了的罪，只要我们抱有这种心态时，当压力降临时，莫说是 3000 N，就是 30000 N……3000000 N，我们也会微微一笑，绝对能扛！【刘建兴】

科研中的压力主要来自几个方面，第一，自己，来自自身的压力与个人的性格和成长环境有很大关系，对于追求完美的人很明显来自自己压力会比一般人大。另外如果在成长过程中，周围亲戚朋友都很优秀，父母对自己的期望也可能转变成压力。第二，家庭，对于已经有家庭的，如何平衡好科研和家庭关系至关重要；而对于没有家庭的博士，就会面临找工作压力，而能不能找到工作，找到工作的好坏，与科研产出即发表的文章关系很大。第三，社会，大部分科研人员进行研究除了生活以外，最重要的是想得到社会的认同，得到别人的尊重，这是属于更高层次的追求，这些无形之中会给自己带来压力。

对于不同年龄段的科研人员来说，来自这几方面的压力也各不相同。对于我来说，即将毕业，来自工作上的压力最大，这关系到自己能否生存下去，继续科研工作。另外还可能会面对随之而来结婚的

压力，自己承担的责任更大，要为自己未来的老婆和孩子创造好的生活条件，要报答父母的养育之恩等等。

不管怎么说，只要是生活在社会中的人压力就不可避免，对于年轻的科研人员来说，适合的压力甚至有助于工作快速完成。当然压力过大时要注意及时减压，要及时释放压力，就像弹簧，当承受的拉力超过限度时，就再也不能回复到原状。对于我觉得，缓解压力最有效方法是运动，跑完步后累的不行了，然后洗澡睡觉，第二天早上压力大大减轻。和别人倾诉聊天也是一种很好的办法，有时甚至不需要把自己的苦闷告诉别人，就是简简单单和朋友聊聊，跟父母打个电话，压力都会减轻很多。再不行可以跟导师请假出去旅游几天，也是不错的方式。归根结底，压力是不可避免的，我们需要的是积极乐观的心态去面对压力，而不是去逃避。【刘志峰】

生活中在既定目标的努力过程中任谁都会面对各式各样的压力，其实不管压力以何种形式出现，归根到底其实都是自己施加给自己的。压力本来可以有类似催化剂的功效，可以让自己不断提高对自己的要求，并强制自己尽力的向目标看齐。但是在现今社会大家往往难以正确的审视压力，有时候人不思进取，真正意义上的压力根本都没有降临到身上便开始杞人忧天、谈压色变，这样压力不但没有起到应有的作用，反而成为了一个全面消极的字眼。

正如以上所说的，我们应该正确的对待压力，把压力作为成长的动力，时刻做好承受压力的思想准备。事前如果做好了充分的准备，压力在长期的准备过程中便得以释放，这样可能在压力来临的时候就不再觉得难以承受，这样就相当于减压。其实人就应该有坦然接受一切的气魄，这是人的意志水平的反应。

另外，对待事情应该做好全面的预测和估计，

可能有时候不能苛求做好所有的事情, 综合自己的能力和需求后分清事情的先后主次, 可以适当的舍弃一些无关痛痒的琐事。

最后应该有自己的减压方式, 事物都是相通的, 有时候放下手中的工作换个环境去考虑一下其他的事情、培养几个好的爱好等都有助于更好的缓解压力, 不同性格的人可以有不同的选择, 比如可以酣畅淋漓的运动一番。【苏凯】

压力有两种, 外在的压力和内在的压力。

外在的压力是社会性的、有目共睹的压力, 比如交通住房、医疗安全等; 内在的压力是个人性的、不易言喻的压力, 比如自身价值观、家族期望等。前者的压力常常是临时的、当下的, 后者常常是持久的、超前于或是滞后于时代的。人们因为前者而生存, 因为后者而存在。

社会中, 底层人物外在压力要常常占到绝对主导地位, 以至于内心常被忽视, 如行尸走肉; 上层人物内在压力要常常占到主导, 以至于内心压抑直到变形, 如变态狂人。内外压力的过大和两者的严重倾斜便成为了危机, 于是社会中就不乏中年润土和姑苏慕容这类典型人物。

那么应当怎样应对压力呢?

其一, 避开不必要的压力, 保持身心的平衡。这样便不会使压力过大超出心的承受能力。不必要的压力包括: 内压比如过高的期望、过分的贪婪; 外压比如假想的困境、过分的危机意识。在压力大小适度的情况下, 就要保持内外压力的平衡了。因为平衡的压力下, 心才能有节律的跳动, 人才可以正常的前行, 这样的压力就是动力。相反, 任何一方的过分倾斜, 都会让人失去平衡, 这时候压力就成了阻力。具体到实际的减压方式比如: 开怀大笑、放声大哭、向人倾诉、劳逸结合、学会说不、不做超人、听音乐、旅行等等都可以避开不必要的压力, 保持身心的平衡。

其二, 挺进责无旁贷的压力, 练就强大的身心。

凡事躲无可躲, 不如挺身入局, 去主动承担。因为“主动”带来的效应常常是积极的、乐观的、强有力的。在压力来临时, 这种迎难而上的处事方式不仅不会使压力影响自己的精神状态, 反而是越挫越勇, 越发的坚韧。具体到实际的减压方式比如: 尊重历史、重新评估过去、遇事沉着冷静、有条不紊、励志勉行、自我反省、自嘲、户外等等都可以挺进责无旁贷的压力, 练就强大的身心。此时的压力就化为了动力。

像范德华力既包含引力又包含斥力一样, 压力既可以是阻力也可以是动力。没有压力也就没有动力, 所以不必担忧压力的存在, 而是要正确的面对。

【葛坤朋】

地球物理年会会讯

黄宝春供稿

在中国地球物理学会第二十八届年会(2012年10月17-20日, 北京温都水城)期间, 中国地质学会古地磁专业委员会如期组织了“古地磁与全球变化”专题讨论会。按照专题多年来的组织模式, 本届年会继续采取邀请报告(地质大学北京张世红教授、华东师范大学张卫国教授、中国科学院地质与地球物理研究所Greig Paterson博士、和地球环境研究所敖红博士)和自由报告(22个)相结合的形式。会议期间, 16位口头报告人和9位张贴报告人到会报告, 报告内容包括构造磁学、磁性地层学、环境磁学、磁组构、及生物磁学等各个方向一年来的最新研究进展。

(1) 构造磁学: 以超大陆演化过程中东亚主要块体的古地理变迁及陆内构造旋转变形为主题, 包括张世红教授关于Nuna超大古地磁重建的综述、陈力为最新获得的华北1.35亿年高质量古地磁极及古地理重建、及程鑫等关于羌塘地块晚古生代-中生代的构造演化历史的研究等; 另一方面, 构造磁学所关注的重点是青藏高原东北缘的构造旋转模式, 颜

茂都研究员、李军鹏博士研究生均各自报告了重要的研究进展。同时,潘小青博士研究生对目前AMS方法在火山岩侵位模式以及岩浆流动方向等的确定上的是与非进行了比较深入的讨论。此外,还包括一个AMS弱变形磁组构在山脉隆升历史方面的应用研究(唐自华博士)。

(2) 磁性地层学与环境磁学的结合,在古环境变迁方面的应用研究。这个方面敖红博士重点讨论了泥河湾盆地新时代磁性地层学研究最新成果外,还包括以近代污染环境源的识别、海洋/海岸沉积物的物源、钻孔沉积物的磁性地层学序列与环境演变过程,以及地磁场长期变特征的研究。

(3) 地磁场古强度研究,该方向是认识地球内部动力学过程和地磁场长期变化特性的钥匙。一方面Greig博士对如何识别可靠地古强度数据做了精彩的报告,同时,蔡书慧还接续上了中断了十多年的考古磁学研究,重点从地磁场古强度数据方面阐述了近几千年来地磁场的变化。

(4) 以林巍博士的地磁场与生物的多样性为主题的生物磁学研究。在此领域,尽管目前的研究还近限于个别研究小组,但无论是趋磁细菌的多样性,还是生物矿化的影响因素的探索,均有一些研究亮点。

经评议,中国科学院地质与地球物理研究所博士研究生蔡书慧同学(报告题目:中国地区近八千年地磁场强度变化—山东、浙江、河北等地考古磁学研究)和博士研究生陈力为同学(报告题目:华北北部1.35Ga年岩床的古地磁结果及对Columbia超大陆演化的制约)获得专题学生优秀论文候选人资格。经中国地球物理学会第二十八周年会组委会审定,蔡书慧同学和陈力为同学获得中国地球物理学会第二十八周年会学生优秀论文奖。同时,蔡书慧同学和陈力为同学获得中国地质学会古地磁专业委员会颁发的2012年度指南针优秀学生论文奖(简称“指南针奖”)。

专业委员会认为,关于华北地块在Columbia超大陆中古地理位置及与相邻陆块之间构造关系取得了一些重要进展;地磁场与生物之间的相互作用有一些新的亮点性研究进展。另一方面,国内中断了十多年的考古磁学研究最近在中国科学院地质与地球物理研究所重生;前几年有所沉静的构造磁学研究近两年随着青藏高原和东亚陆块构造古地理研究项目的展开、以及超大陆重建新一轮成为热点,有复苏之势!在本次年会上,以构造磁学、磁性地层学及岩石磁组构等为主要研究方向占专题报告近一半。

实验室新闻

段宗奇

晚秋初冬时,北风朔,候鸟迁。寒冷正悄悄的在北地蔓延。孙露、孔艳芬等人赶在冰雪来临之前于11.15-11.22前往甘肃临夏、会宁地区进行后期补充勘测,并选定了第二年工作的新剖面。12.8-12.20王非研究员,吴林等前往山东、江苏采集韧性剪切带样品。此时节,南国依旧郁郁葱葱,气候适宜,仍然适合于野外作业。11.8-12.1赵杰,陈力为,闫永刚,前往云南采集古地磁样品。2012.12.2-4,孙露前往广西崇左市对该地区含有“巨猿动物群”化石的洞穴沉积物剖面进行实地勘探。

第二十八届中国地球物理年会于10.17-10.20如期在北京召开,蔡书慧、徐慧茹和陈力为等人参加了会议,并作了口头报告。陈力为和蔡书慧获得此届的PGL指南针奖及大会优秀论文奖,在此表示祝贺。10.31日,王英博士结束了在瑞士为期三个月的学术交流。2012.12.3-12.11日,潘永信研究员、郑妍博士后、李仕虎、苏菲和王寅熠博士前往美国参加AGU秋季会议。蒙特利埃第二大学Patrick Monié教授,应王非研究员邀请于12.7-12.21访问了年代学实验室。应刘青松研究员邀请,同济大学李春峰教授于12.18-12.19访问了

PGL 实验室，并作了题为“由大洋钻探揭示南海扩张”的精彩报告。

近期，年代学实验室新引进美国瑞索激光仪器公司的 Resolution M-50-LR 激光剥蚀系统（用于锆石剥蚀）和德国 icp Thermo fisher 公司的 ICP-MS X series（用于锆石 U-Th 含量测试）以及澳大利亚 ASI 公司生成的 Alphachron（测磷灰石、锆石中 He 含量）等仪器，欢迎大家前来使用。

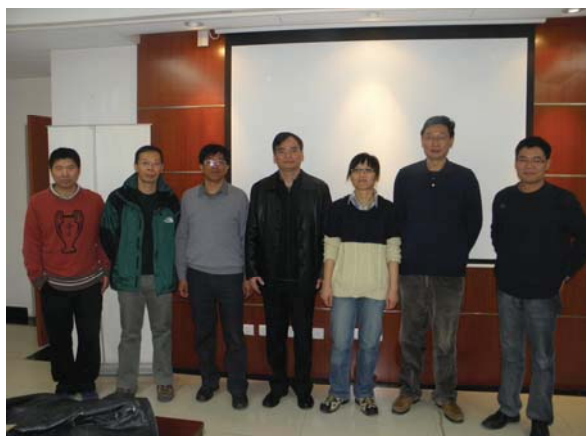
2012 年 12 月 25 日，贺怀宇老师顺利通过答辩，晋升为实验研究员；27 日，林巍博士和李金华博士晋升为副研究员。在此表示祝贺。

另外，值得祝贺的是：实验室家族于今年年底新增多名龙子龙女，祝他们无忧无虑，茁壮成长。

毕业答辩：



刘成英博士答辩



乔庆庆博士后出站答辩

新年感言

陈海涛：走过了世界末日，经历了 201314，让我们携手为梦想奋斗，为理想加油！

刘彩彩：2012 年工作这件大事总算解决了，很想当面谢谢组里的各位老师，可是有时候大家发现最深的感谢当面却很难说出来，就借此地表示一下我的感激之情。非常非常感谢我的两位导师，朱老师和邓老师。记得我到张老师这边一年多了，一次一个师兄告诉我：“你老板朱老师每见一次张老师就像他强烈推荐你一次……”我当时除了深深地感动，更多的是愧疚，我在这里一年没做什么，至少拿不出自己新的东西，我当不起老板的推荐。那时我才觉得我必须加紧了，第一次我独立负责一个剖面的采集，当时都找不到人帮我出野外，就一个可挑大梁的同事还被别人征用了，这时候，邓老师不仅给我提供指导还提供最宝贵的人类资源，最近邓老师身体不好，出野外只有孙璐了，可是为了我的事情邓老师都先让孙璐先停了自己的工作来帮我，其中的感动不尽言表。令人欣慰的是，这个剖面的结果非常重要，甚至有可能改变了张老师长期以来的一个看法。除了野外，在基础的知识理解上我也没少劳烦各位老师，尤其是黄老师，有一次为了弄清楚方向的问题，黄老师从头至尾帮我验算了一遍，占用了他将近一个上午，我有时候会跟庆庆开玩笑说，我老是问黄老师，他会不会那天看见我就躲啊，呵呵。通过我的切身体验想对大家说一句，我们能在这样的集体，能有这么好的老师，是我们的幸运，好好珍惜。祝大家蛇年快乐，天天向上。

姜兆霞：希望每一位 PGL 成员都能像 SD 的胶黄铁矿一样，具有着超强的凝聚力，紧密的团结在一起，共同维护着我们这个大家庭！

刘素贞：有主儿的永远幸福，没伴儿的做单身贵族~

田兰香: 祝愿 PGL 大家庭团结和睦, 共攀科研高峰!

葛坤朋: Fight for love and paper^^

孙蒨: PGL 造就了我的一部分, 希望我也能造就 PGL 的一小部分。

刘志锋: 快毕业时才更能体会到 PGL 的好, 剩下半年, 好好珍惜在 PGL 的日子。

徐慧茹: 冬天已经来了, 春天一定不会远, 在务实求真的道路上, 请不要忘记仰望星空。

孔艳芬: 龙走了, 蛇来了! 2012 年很大的感触就是实验室多了好多龙宝宝啊! 希望新的一年, 实验室的兄弟姐妹们成果多多, 宝宝们健康快乐的成长!

刘建兴: 以逆境唤醒血性, 我用激情让改变发生。

胡鹏翔: 2012 都过去了, 你还怕什么?

蔡焱: 时值癸巳, 锦绣地磁。桃李天下, 誉满海内。似滔滔江水雄壮澎湃, 如巍巍峨眉秀甲天下。行于明世, 海纳百川; 包容五洲, 春华秋实。作大鲲濯鳞于沧海之畔, 为骏马驰骋于大疆之中。

靳春胜: 2012 年, 忙并快乐着! 希望 2013 年同样快乐并忙着! 祝实验室的兄弟姐妹们在新的一年里红红火火, 蒸蒸日上! 再忙也不要忘了锻炼身体哟!

秦华锋: 学生年年变, 饭局年年有, 旧人新人们健康长寿。

张春霞: 岁月时时新, 情谊时时在, PGL 大家庭真情永驻。

王海龙: 谨祝各位老师和兄弟姐妹们在新的一年里, 身体健康, 工作顺心, 事业学业有成。

杨彩云: PGL: Perpetual Great Lively

王磊: 实验天天做, 文章年年发, 师兄姐妹们成果丰硕

乔庆庆:

实验室里

最幸福的事情——老板什么都懂

最不幸的事情——老板什么都懂——你永远别想唬到他

最希望他们时时都和蔼可亲, 即使我们犯了一些在他们看来根本不可能发生的错误

.....

在白杨胡杨织成的林带之间

在长河落日的大漠戈壁之中

在瓜果飘香的伊犁河谷之内

在白雪覆盖的天山山顶之上

希望漫天的雪花带去深深的祝福

老板们项目一个接一个, 笑容常驻

兄弟姐妹们文章多多, 毕业工作万事顺利

韩非:

作为研一的学弟, 跟师兄师姐们接触多了, 发现中科院的生活也可以这么活泼和丰富, 逐渐改变了我以前对中科院那种刻板的看法, 所以能进入 PGL 这个大家庭, 感觉很幸运, 也让我对未来的生活充满期待和信心。在新的一年里, 希望所有的老师和师兄师姐们活得更加精彩, 学术上都能有新的突破; 也希望这个集体更加和谐融洽、达到共同进步。加油 2013!

王英:

希望每个人的 2013, 幸福多多~健康多多, Paper 多多~Money 多多~总之所有的好运都要多多~~

刘双迟: 2013 新年伊始, 让我们将忙碌的心沉淀一下, 思考下自己新一年的愿望, 回顾下自己最初的梦想。静思无碍敏行, 当我们整理好行囊, 制定好目标, 必将轻装上阵, 快步前行

蔡书慧: 我把青春献给了你, 你用知识哺育了我, 祝 PGL 枝繁叶茂, 永葆盛况

唐祥德: 在 PGL 中得到的训练是我终生受用的财富, 感谢 PGL, 祝 PGL 各位生活快乐、实验充实, 硕果累累!

王寅昭: 窗前明月 PGL, 疑是地上 PGL。举头一望 PGL, 低头再思 PGL。

编后语

PGL-Letters 期刊为古地磁与年代学实验室季刊, 为非正式发行, 仅供同行业人员内部讨论交流。所刊内容, 稿件作者负责。本刊面向同行业人员进行征稿, 同时欢迎其它科研小组来信来稿。

《PGL-Letters》将包括以下栏目:

期刊首语

人物介绍 (在地磁学方面做出贡献的专家以及实验室人员介绍)

专题介绍 (每期设置一主题)

文献导读 (地学领域最新文献简介)

研究进展 (包括本实验室最新的研究进展, 成果总结等)

Seminar 专栏 (包括来访报告者及其报告内容简介等)

实验专栏 (包括仪器使用, 方法改进, 实验心得等)

重点连载 (包括教学专栏, 文献综述的连载等)

疑难问答 (主要是专业问题的交流探讨)

文化动态 (该部分内容较为灵活, 包括实验室组织的活动图片, 生活感悟等抒发胸臆或看法等方面的小篇幅文字)

责任编辑: 刘青松 邓成龙

美工: 胡鹏祥

本期特约编辑: 葛坤朋

资深编辑: 张春霞

电话: 010-82998365, 82998087, 82998010

Email:

qsliu@mail.iggcas.ac.cn;

cldeng@mail.iggcas.ac.cn

cxzhang@mail.iggcas.ac.cn

实验室网页:

<http://www.paleomag.net>

PGL-Letters 电子版下载地址:

打开实验室网页 www.paleomag.net

然后点击左下角 进入中文版>>>, 在网页中下部的‘知识与资料’专栏中, 点击 ‘PGL-Letters 期刊’

联系地址:

北京市北土城西路 19 号

中国科学院地质与地球物理研究所

古地磁与年代学实验室 北京

邮编: 100029

