

# PGL

# Letters

第1期 (总第七期)



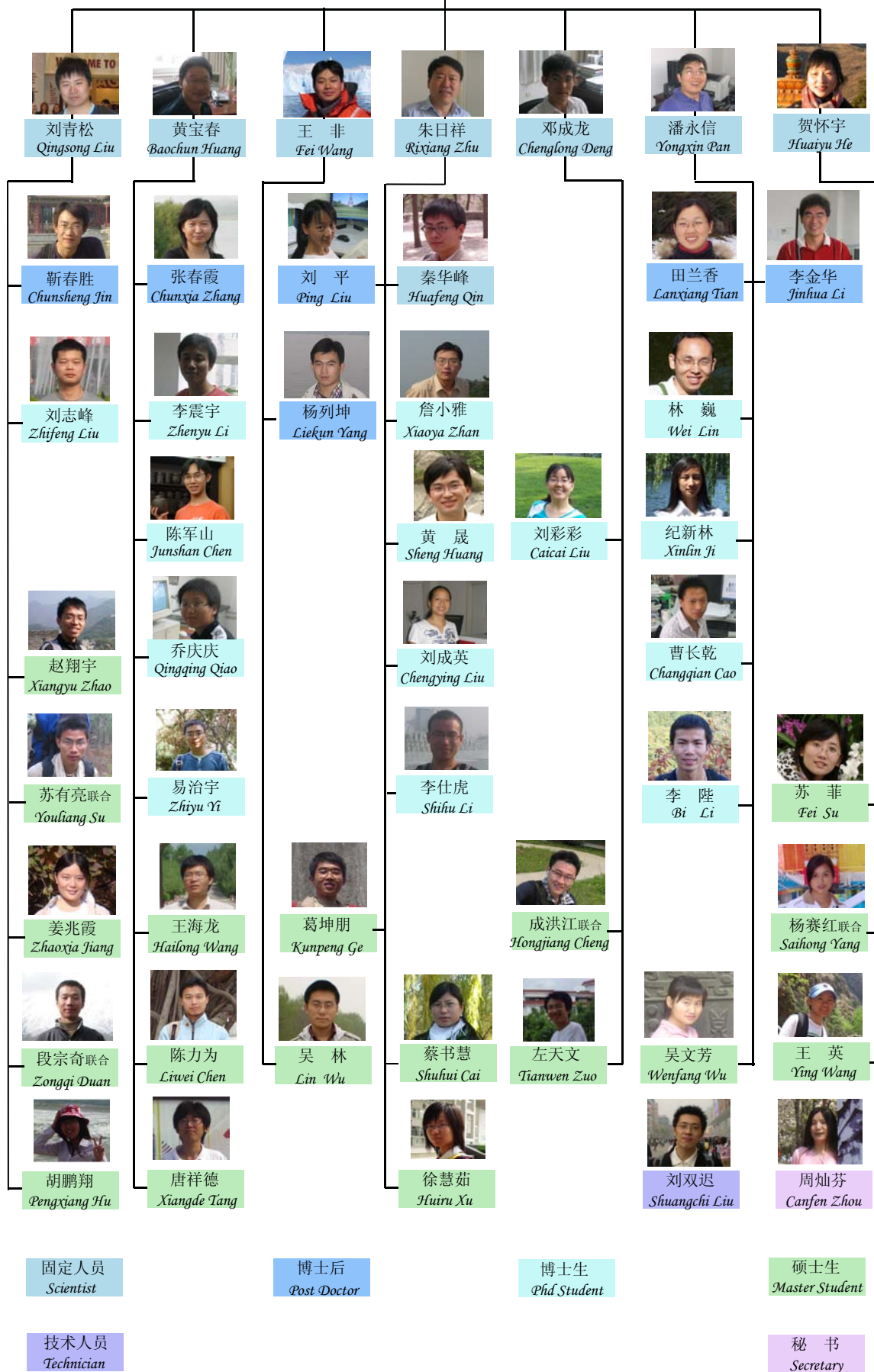
大峡谷 (摄影: 邓成龙)

# 2010

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

对于从事科学研究的人来说，“科学”这个话题应该是再熟悉不过了，但真要深入探讨，多数人却又很难就此话题说出个子丑寅卯来。因此，本期的专题介绍特别推出“俗说科学”，从“阳光的科学”“阴暗的科学”和“含泪的科学”等几个方面，力图揭开其神秘的面纱，看看她的高尚之处，瞧瞧她的阴暗之面。

在实验过程中，您是否注意到了多畴磁铁矿在低温下的异常磁化率行为，本期的文献导读将向您阐述发生该异常行为的机制。

自然界中，磁性矿物无处不在，从细菌到人类等生物有机体亦不可避免。生物磁学是近年来快速发展起来的一门交叉学科，其中，关于趋磁细菌的研究更是日新月异。本期研究进展以通俗易懂的语言向您介绍细菌这一哈磁族。而重点连载部分将推出系列文章介绍细菌等纳米磁性矿物的研究方法。

过去的十年中，在观测地质学和生物学样品中磁性矿物的磁化状态等技术方面取得了显著进步，发现矿物的磁学性质携带了大量的信息。而矿物

磁学进一步对这些信息进行了详细阐释并将其应用到更加广阔的地球科学领域，成为研究地球内部过程的新视角。仔细研读本期的 seminar 专栏，您将会在矿物磁学方面受益匪浅。

如果您对行星与地球磁场、地磁发电机模型、地球与行星内部过程感兴趣，一定不要错过今年 7 月份将在北京举办的“地球与行星内部”国际学术会议，详细内容敬请关注本期的文化动态。

今年 3 月份，我们的前辈朱岗崑老先生不幸逝世，本期特发追悼朱老先生的文章，恭祝朱老先生一路走好！

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1期

2010年03月

## 目 录

### 人物介绍

张可可.....1

### 专题介绍

俗说科学.....1

### 文献导读

多畴磁铁矿在低温的异常磁化率行为及其机制.....7

### 研究进展

细菌哈磁一族.....8

### Seminar专栏

矿物磁学：研究地球内部过程的新视角.....10

### 实验专栏

古地磁与年代学实验室常规检查项目说明.....19

### 重点连载

纳米磁性矿物的研究方法.....20

### 文化动态

地球与行星内部国际学术会议.....21

悼念老朱先生.....21

# 人物介绍



张可可

英国 Exeter 大学 教授

1982 年毕业于南京大学天文系，1987 年毕业于美国加州大学洛杉矶分校获博士学位

1987-1988 年，美国加州大学洛杉矶分校，博士后

1988-1992 年，英国剑桥大学，博士后

1992-1997 年，英国 Exeter 大学，讲师、副教授

1998 年—现在，英国 Exeter 大学，地球物理学，教授

张可可教授是国际著名的地磁理论学家，主要从事地球和行星的波动和振荡理论、地球内部热对流和非稳态性、地球发电机理论

和磁流体动力学以及地球物理建模和数值模拟理论、并行计算研究等方面研究工作。

现担任 Exeter 大学地球物理和天体物理流体动力学中心主任，2004 年起国际重要刊物“地球与行星内部物理”(Phys Earth Planet Inter. 影响因子 2.5)杂志主编。张可可教授已发表论文 140 余篇、被 SCI 引用 1500 多次，论文主要发表在 Journal of Fluid Mechanics 和 Physical Review Letters 等杂志，其中 4 篇在 Science 和 Nature 上。他应邀在著名剑桥大学出版社出版专著 Theory of Wave and Convection in Rotating Fluids。

# 专题介绍

## 俗说科学

【王非】

### 引

前次听了刘青松教授“走近科学”的讲座，颇有些感悟。我们这些在“科学的院子里”的人，尚须走近，想那些还在院门口的、或院子外的人，怕是离之十万八千里唉。历来科学之高尚、科学之伟大，已使得普通人仰之远之，并无助于吸引那些在科学门口的犹豫之士，也于普及科学、提高我民素质无益。因此，有必要俗说俗说科学，掀起其面纱，看看科学的高尚之处，瞧瞧她的阴暗之面，读读她那辛酸的成长史。

### 阳光的科学

孩子们小时候都有成为一名科学家的梦想，都崇拜那些伟大的科学家，牛顿、居里夫人、爱因斯坦。现如今我们也与科学为伍多年，但每当那些在“科学的院子”之外的

人问：“你们到底是做什么的”时，我们却不知如何回答。“我们是搞科学的，”终让人不知所云。

发呆时，我也想想这个问题。科学的目的，其实挺俗的，就是衣、食、住、行、玩那点事。嘘，别亵渎科学！可事实上确是如此。

记得读过一篇智者的故事。一位智者躺在沙滩上悠闲地晒太阳，一位富翁过来问曰：“你为什么不工作？”智者曰：“何为？”富翁曰：“挣钱。”智者曰：“何为？”富翁曰：“买别墅，买游艇，买漂亮的衣服，吃山珍海味。”智者曰：“何为？”富翁曰：“享受生活！”智者曰：“那我现在在干什么呢？”别墅、游艇、漂亮的衣服和美妙的食物都是科学的成果。你看，科学的志向不过如此，“享受生活！”对这位智者而言，有科学和没科学似乎没有什么区别。

回想几万年以来，人类从野人变为现代人，亦是科学的成果。人类从食不裹腹、衣不蔽体到衣食无忧、文明发达，形成宇宙中一个高级的生物群落。相对于其他生物群落来说，人类住得好，吃得好，行得快，玩的爽。为什么？因为我们懂科学，而它们不懂。

然后呢？我们吃得更好，行得更快，玩的更爽！再然后呢？吃得更更好……，我想不出还有别的什么。科幻小说描述数万年以后，高度发达的科技使人类高度舒适，高度舒适使人类的生理功能丧失殆尽，像一个脂肪球一样被机器人搬来移去，这或许真的就是人类的宿命。

看看所谓的发达国家。他们有高楼大厦，有充足的食物，有私人飞机，有“迪斯尼”乐园。再看看贫穷国家：贫民窟、饥荒、牛车、捉迷藏。差别何也？科学！“让人类过上更好的生活，永远繁殖下去……”此乃科学的本质也！可有意思的是，民意调查却显示，

那些落后的国家，对生活的满意度更高，生活更安逸。可见，即使这样的目标，有人人不买账，科学在这里是多么的出力不讨好！

写到这里，我看到有人在摇头。“布鲁诺为之而献身”的日心说，和吃、穿、住、行有什么关系？！他的科学信仰多么高尚！”我将这一类的科学研究归并于“玩”的范畴，或者定义为“富余的人用富余的钱做的富余的事”。探求未知世界，是人类的好奇心使然。好奇心的满足，是玩的一种。见过海狮玩皮球吗？见过小孩捅马蜂窝吗？这些都是好奇心使然。科学家探求未知世界的动机和这些差不多。“看看人家哥白尼，研究太阳。你呢，就知道玩麻将！”不管这位挨妻子训的丈夫多么平庸，不管哥白尼多么伟大，他们做事的动机是一样的，受好奇心的驱使。哥白尼告诉大家，不是太阳绕着地球转，而是地球绕着太阳转。“哦，原来是这样。”大家恍然大悟，好奇心得到了满足；而那位玩麻将的丈夫能在5分钟内摆出一付十三不靠的牌，“他竟然做到了！”大家的好奇心同样得到了满足。尽管方法不一样，本质是都在满足好奇心。就像我们极力想知道宇宙大爆炸是怎么回事，大爆炸之前宇宙是什么样子的，这被称为重大的科学问题。一旦一个超人清楚地录下了这一切给我们看时，“原来如此！”我们的好奇心得到了满足。

数论是典型的高级玩法，是16、17世纪欧洲精英社会中流行的数字游戏。当时的数学还很初级，方程、坐标系、微积分等都未出现，捉摸数字便是当时数学的主要内容。那些饱食无忧的王公贵族附庸风雅，和当时的数学家们捉摸出各种稀奇古怪的数字猜想，以难倒所有人乐趣，其性质就和现在很多杂志沓兑里的数字填格游戏差不多。看看哥德巴赫猜想吧：每一个偶数都是两个奇

素数之和，每一个奇数都是三个奇素数之和。这就和命题“证明人是人”一样，既重要又无聊，既明白又难以证明。哥德巴赫不比魔方的发明人伟大多少。陈景润穷其一生研究这个数字猜想，使我联想到一个英国人坚持不懈 30 年才将魔方的六面全部复原的故事。无怪乎阿尔弗雷德·伯纳德·诺贝尔坚持不设数学奖，盖此原因也。

科学发展的终极目标决没有什么与众不同的独特之处，她和种族战争、阶级革命、宗教斗争、意识形态一样，在“崇高伟业”名头的背后，其目的是俗气的“享受生活”。“要让劳苦大众得解放，无产阶级当家作主……”，革命烈士气吞山河的遗言，用俗语翻译过来就是“要让我的子孙吃饱穿暖生活舒适……”。科学比人类的其他行为高尚之处在于，科学本性上是让所有人生活舒适，而政治、国家、种族、阶级、宗教等是让部分人舒适，部分人难受。有趣的是，这也是外星人的科学目的。看科幻影片，其中的外星人总是要斩除人类，霸占地球，目的何在？外星人下达指令：“\$%^&\*%\*%·%!” 美国人将之翻译成英语为：“live on, and enjoy life。”

无论你的学科是多么的神圣、深奥，它总是转弯磨角地浮现在人类吃、穿、住、行、玩中。因此，如果再有人问本文一开始提到的问题，正确的答案是：“我们的工作是要让你更爽地活着，更爽地玩着。”这是科学的最高境界？是科学家为之奋斗的目标？然也。对科学来说，这就是最高尚的行为了。科学还有其他行为，就不那么令人愉悦了。

### 阴暗的科学

客观上讲，科学一诞生，就充当了屠杀人类的刽子手、犯罪的工具、骗子的伎俩。战

争从一开始就伴随着人类，从棍打石砸，到刀砍戟挑，再到枪击炮轰，发展到今天的大规模杀伤性武器，战争愈来愈高级，愈来愈残酷，直至可以灭亡全人类。这些全拜科学所赐。如今，人类只要动一动指头，就可使上百万人灰飞烟灭。看看科学家在其中充当了什么样的角色。最伟大的科学家，也是最大的帮凶，他们使用聪明的头脑，丰富的科学知识，制造出疯狂的武器，屠杀人类自己。诺贝尔一生研制军火，拥有当时欧洲最大的军工厂，相信在多次战争中少不了他的“贡献”。在其遗嘱中，指明开设诺贝尔“和平奖”，可能是对自己良心的一种安慰。AK-47 步枪的发明者，卡拉什尼科夫被赋予英雄称号，可死在他的发明下的冤魂何止千万。原子弹的出世让人类最丧心病狂的疯子也害怕，喜欢用别人做试验的日本人终被美国人做了试验，一个个头不大的“小男孩”在一瞬间要了 14 万日本人的命，让自认为除了上帝就他最大的“天皇”吓破了胆。不知在日本人的眼里，爱因斯坦是伟大的科学家呢，还是刽子手？

你知道最先进的科技发明在哪里？没错，在军事部门里。他们的仓库里储存着难以置信的科研成果，果果要命，就像潘多拉盒子里的恶魔一样，潜伏在人类身边。新的科研成果，首先被检视是否可以用于军事目的，是否可以最有效地摧毁人类，其次才轮到民用。GPS 就是一个典型的例子。为了军事目的，人类不计成本地追求大杀器。飞机、轮船、火箭，飞船、卫星、导弹，这些人类历史上最伟大的科技成果，全是为战争而生。战争的需要极大地推动了科学的发展，而科学的发展更惨烈地屠杀人类。人类的秉性造就了这一真理，“落后就要挨打”即是这个意思。这一点中国人有着切肤的感受。18 世纪

西方的工业革命,使得西欧大国科技发达而国富民强,但工业化和自然科学的进步没有催生一个文明、平等、温馨的世界,反而膨胀了欧洲的狼子野心,为其它国家带来了深重的灾难。科学在这里就是这样助长了不正之风,就是这样和暴力、侵略密切地联系起来,就是这样充当了一个不光彩的角色。

科学还是罪犯的工具。看电影“超人”时,给我印象最深的不是“超人”,而是那个能制服“超人”的普通罪犯。他是个博学的罪犯,在他的家里,有着山一样的书,取一本书要用高高的梯子。导演用这样的镜头将“科学”和犯罪联系起来。科学能帮助罪犯让强大的“超人”肌无力,像一条狗一样趴在他的面前。现在的高级罪犯都堪称科学家,至少也称得上科技工作者,他们能从网络上神不知鬼不觉地将别人的钱 A 到自己的名下,能造出防伪最严密的美钞。当然,如果使用不当,科技成果还能带来杀身之祸。在俄罗斯-车臣战争中,匪首达得耶夫就是在享用卫星电话时,招致了一枚俄罗斯的巡航导弹而被炸得粉身碎骨。估计他至死也不明白,自己选择在月黑风高夜躲到荒山野岭打电话,哪来这一炮呢。

人们对科学和科学家的膜拜,经常在无意之中招致灾难。六、七十年代中国农业的浮夸风导致了数千万人饿死。亩产几十万斤的谎言如何能被认可,如何能骗过头脑绝顶聪明、农民出身的毛泽东?据说,毛泽东是看了钱学森的报告后才认为亩产几十万斤是可信的。钱学森通过“严谨的”数学计算,证明亩产几十万斤是可能的。不知道为什么钱老不计算导弹轨迹而计算粮食亩产,也不能说当时的中央高层就凭此一条决定政策,但钱老顶着全国人民崇拜的物理学家名头,其话语权必定很大。我相信,饿死人绝对不

是任何人的初衷。但这样一个简单明了的问题,却被一整套聪明的人做错了,是政治的无情,也是科学之咎。

科学还乐于帮助骗子敛财。记得水变油不?上世纪 80 年代初我国一些权威期刊刊登、转载多篇文章,介绍我国某牛人发明了一种药剂,可以使水变成汽油。这是一项了不起的科研成果,一劳永逸地解决了世界的能源问题,为人类做出了重大贡献,云云。后查证,这一骗术早在 20 世纪初已在美国玩过了,骗子骗取了数以百万计的钱财。会使用一点化学、物理知识的江湖郎中、巫婆神汉,只是些小角色,骗点吃喝而已。永动机是早期科学家追求的梦想,后来变成了骗子招摇的伎俩。魔术师是使用高科技手段骗人的高明之士,他们绝对称得上是科学家,但至少他们承认这是骗术,愚人于明白之处。而那些伪科学家、特异功能家、真伪宗教大师们,则是彻头彻尾的骗子,扣一款科学的帽子,敛财于卑鄙之中。

八、九十年代中国最红火的就是伪科学。街边、礼堂到处都是特异功能表演会、疑难杂症治疗场,比现在我们的学术报告还频繁。那时真是骗子们的事业上升期。中央电视台的春节晚会也充斥着骗子。记得一个胖胖的男人在电视上用手掌煎鱼,煎得火星乱溅、黑烟缭绕,节目主持人还直夸味道好。而另一个瘦男人一挥手就使 5 米开外的木板倒地,谓之曰“科学气功法”。较近一点的是四川的一个老中医挑战美国一个魔术师的闹剧。美国的这位魔术师在玻璃笼子里绝食 45 天,而中国的这位老中医要“为国争光”,在笼子里绝食 50 天,超过洋人。最终美国人宣布自己的表演只是一场魔术而已,而这位中国老中医却是一个地道的骗子。无论如何,这两人都使用了科技手段来帮助自己成功。



进入 21 世纪后,一阵噼里啪啦的拍打,中国的伪科学急剧地衰落了。有些是自废武功,散伙走人,有些则遁入科学内部,整容成更科学的样子继续骗人。我偶遇一北京大学人文学院的教授,据说在中国商界颇有名气,四处讲学,求见一面很难。他用“天气”、“地脉”、“能量”的组合来预测天地万物即将发生的事。他号称预测出了“911”事件、江南大雪灾、汶川地震、奥巴马当选等,并且在网上开有博客。我问能算命否?答曰算命是小儿科。我让他看我的命,他便告我将在 48 岁时有难,多穿蓝色衣服可解。从那以后我便多穿偏蓝色的衣服。

近来反伪科学的斗争显然是有点扩大化了。反伪斗士们已将中医、地震预报等划入了伪科学的范畴。中华深厚的文明确实带有某种神秘的色彩,加上中国人喜欢贴金的嗜好,使得一些不伦不类的东西也穿上了“科学”、“文化”的外套。明明是耍蛇卖嘴头,偏要谓之“蛇文化”;明明是饱口福,硬要冠之“食文化”;“风水”、“易经”、“八卦”等这些神秘莫测的“信则有”的中国元素,现今都裹了一层科学的外套。中医不像讲究病理、药理和临床试验的西医,多凭经验和感觉给人看病,一些手段到现在也说不清原理,刮痧、拔火罐、针灸、穴位、经络等这些中医的要素,确实不符合现代科学的定义。西游记里的孙猴子是怎么给朱紫国国王治病的?锅灰加马尿,便是一剂神奇的中药。无论什么现象,当用科学无法解释时,就很容易被骗子利用,也很容易被怀疑成伪科学。地震前兆的机理同样说不清楚。因此不能怪那些反伪斗士们,因为他们在寻找打击目标时,一不留神可能就划拉到了这些学科。

人类历史上最大的骗子莫过于耶稣。不知道使用了什么手段,这位连自己的父亲是谁

都不知道的私生子,竟然变成了神的儿子,愚弄西人二千多年,连其红杏出墙的母亲也被视为神明。西方人现在骑虎难下,只好自欺欺人下去啦。虽然这一旷世骗案可能和科学没多大的关系,但此后照此办理的伪宗教大师们,为了达到相同的“神圣”效果,不得不求助于科学的帮助。看到法轮功大师李洪志的神图了吗?其顶上的光环必是煞费苦心营造的一种光学效果,他除了用他的“神掌”给人治病外,也用药丸,药丸必定是真药。

几乎所有的宗教教宗们都和“神”沾边。只能把他们称为“善良的骗子”,因为大部分的宗教都是教人向善的。科学也在维护他们的地位,看那科技最发达的美国的国家信念:“IN GOD WE TRUST”。

### 含泪的科学

科学的成长是一部辛酸的史书,充满了血泪。纵观历史,世界上有三个优秀的科研群体对科学发展做出了巨大贡献,使得科学的发展从东向西依次转移:第一个是中国群体,第二个是欧洲群体,第三个则是美国群体。

虽然从清朝开始中国家道败落,就像在赌桌上把把赢牌,最后一把却输了个精光的玩家,一直到现在还缓不过气来,但历史上中国的科研团队确是一个优秀群体,引领世界科学发展的潮流 4000 余年。四大发明之所以是我们津津乐道的,是因为它们是硬梆梆的原创成果。即便如此,在中国的历史上,科学始终是一个奶奶不疼、舅舅不爱的弃儿。特别是自然科学,始终被认为是不正经的旁门左道,始终没有进入国家、社会的主流。虽然像秦始皇坑儒焚书的事件只是个案,但中国历史上对科学的瞧不起、政府的不倡导,使得科学在中国的发展极为缓慢,到清朝时

几乎停顿了。17、18、19 世纪中国出现了完全可以和欧洲比肩的文学家，但却没有出现同样伟大的科学家。科学在中国始终没有长大，没有获得质的进步。18 世纪以来失望的科技调头西去，使欧洲引领世界科技潮流 300 年。

建国后中国科学更是渡过了一段不堪回首的时光。科学职业被排在“老九”的位置实际上是“鄙视科学”的历史偏见的延续。如果说古代中国“鄙视科学”是因为不懂、愚昧，而在科技引领世界发展的大环境下，现代中国的“虐待科学”却是故意的，恶意的。有人说毛泽东对知识分子的厌恶源自他早年在北大打工时所受到的歧视。这种猜测未必正确，但他发动文化大革命，决不是要拯救中国的社会主义，而是纯粹的权力斗争，是为了一己之私的权力欲。这种置国家、民族不顾而以个人前途决定国家命运的做法确实符合毛泽东的性格。这位善于斗争的革命战士不是一位高明的统治者，一如陈云对他的评价：“建党他有份，建国他有功，文革他有罪，治国他无能。”毛泽东毕生追求共产主义，梦想着在有生之年可以带领中国走进共产主义，但他不知，革命帮不了他，唯有科学可以。

科学在欧洲的发育、成长更是一部血泪史。将科学视为死敌的教会势力直到 18 世纪初一直将铲除科学萌芽视为己任。意大利科学家哥白尼提出日心说后一直不敢发表，直到 1543 年死后才由他人将《天体运行论》公诸于众。而其他科学家就没有这么幸运。据不完全统计，各类宗教裁判所先后残害了 50 余万名主张思想自由的人士与科学家。

海帕西娅是希腊女几何学家，1415 年基督教的暴徒们凶残地袭击了她，他们用贝壳剥掉了她的皮肤，然后将她烧死；阿斯科里

是意大利科学家，因为主张地球是球形的，1327 年被宗教裁判所用火烧死；意大利科学家布鲁诺，因为坚持日心说在 1600 年被烧死；巴黎大学教授西克尔，因在物理研究上有所谓异端言论，被教会活活打死；著名的法国启蒙思想家，文学家伏尔泰，因宣扬自由思想，被教会迫害，两次被抓入巴士底狱，并遭受酷刑。

西班牙的宗教裁判所最为残暴，仅 1483 年至 1820 年，判处的异端份子达 38 万人之多，被火刑处死的达 10 万余人。仅仅在 1480 至 1488 年间，被火刑处死的就有 8800 人，受惩处者有 96500 人。一直到 20 世纪的 1948 年，教会还出版了最后版本的“禁止作家与书籍目录”，包括了大约四百年间的各类科学书籍约五千册，被禁的作家、科学家包括马基雅维里、但丁、薄伽丘、哥白尼、开普勒、布鲁诺、蒙田、休谟、洛克、伏尔泰、狄德罗、卢梭、康德、吉本、左拉、斯汤达、福楼拜、伯格森、邓南遮等人。

可能是“有压迫就有反抗，压迫最大反抗也最大”的原因，至 18 世纪教会不得不接受一些新思想而松开了套在科学脖子上的枷锁时，欧洲的自然科学在 18、19 世纪获得了爆炸式的发展，涌现出了众多的科学家，如牛顿、欧拉、拉格朗日、拉普拉斯、达尔文等。他们在数学、物理等学科上的工作奠定了现代科学的雏形，是 20 世纪世界科学大发展的基础，引发了欧洲 18 世纪末的工业革命，率先进入了机械时代，从体力上解放了人类，告别了刀耕火种的生活，奠定了欧洲人统治世界 300 年的地位。

第二次世界大战导致了科学发展潮流的再次向西转移，这次转到了新兴国家美利坚的手中。简短的历史、轻装上阵的美国凭借公正、公平、自由的社会环境、朝气蓬勃的

政府,为科学的发展营造了一个肥沃的土壤,成就了现代科学革命性的发展。在此期间,人类跨入了智能化时代,大大扩张了人类的脑力,使人类的能力辐射到地球之外,进入浩瀚的宇宙。

我们盼望科学发展势头的第三次西移,以便完成一个轮回。我们准备好了吗?

## 尾

科学是照亮黑暗月亮,带给人类光明;科学是划过天空的扫帚星,带给人类灾难;科学是一个饱受屈辱的孩子,需要培育才能成长。

科学是人类发展的动力,是中华民族复兴的推手。

“科学技术是第一生产力”,仅凭此言,邓公已足以比肩中国历史上的任一位伟人;凭此言,中国进入了“科学的春天”,成就了中国历史上最辉煌的时期。这既是一种欣慰,也是一种悲哀。

科学没有想象的那么圣洁,不是那么遥不可及,她做的那些事,就是我们身边的“俗”事。她命运坎坷,在奋斗中成长。愿我们能用心呵护她,让她带领我们走进更加美好的生活。

王非撰于 2010 年第一场雪之时

# 文献导读

## 多畴磁铁矿在低温的异常磁化率行为及其机制

随着粒径的系统变化,磁铁矿会从超顺磁状态(SP,  $< \sim 20-30$  nm)变为单畴状态(SD,  $\sim 50-100$  nm)。在这两种状态下,磁铁矿的磁化率主要由磁矩旋转引起。只不过对于 SP 样

品,热能大于其磁能,从而磁矩可以比较自由地选换,因而具有较大的磁化率。而对于 SD 样品,其磁能比较大,因此,在室温状态,其磁矩不容易偏转,因而磁化率较低。

SP 颗粒的另外一个特性就是其磁化率具有明显的频率相关性。具体地说,随着频率的增加,其磁化率会逐渐降低。因而,在环境磁学中,频率磁化率常常被用来衡量 SP 含量的替代指标。

但是,频率磁化率并非 SP 颗粒所特有,对于多畴颗粒,在低温(比如 $\sim 50$ K)也具有同样的行为,因而会引起混淆。如果把 MD 的频率磁化率行为解释为 SP 行为,那就容易得出错误的结论,比如,系统中存在着非常细小的纳米级(几个纳米)颗粒。如果真的存在这些小颗粒,就进一步暗示着相应得特殊的形成环境。因此,深入认识 MD 颗粒的在低温(比如 50K)的频率磁化率行为具有很重要的意义。

Blander et al. (2005)系统地研究了含锌磁铁矿的低温磁化率行为。主要的发现为:1) 在 28K,磁化率系统降低,并不具有频率特性;2) 在 $\sim 50$ K,磁化率具有频率特性。对于第二种磁化率异常,作者认为从低温(比如几 K)到 60K,磁铁矿受到非常强的电磁影响。磁矩的旋转会产生电流场,反之亦然。在 28K 以上,这种电磁影响最明显。在磁畴壁内,离子排序最初滞后于磁畴壁的运动,导致磁畴壁所受阻力增强,从而降低实部磁化率,同时增加虚部磁化率。当温度升高后,这种影响逐渐消失。这种过程与频率密切相关。进一步的研究表明,异常温度与频率之间具有很好的相关性( $\log(f)$  与  $1/T$  线性相关),这表明这与热扰动有关。【刘青松】

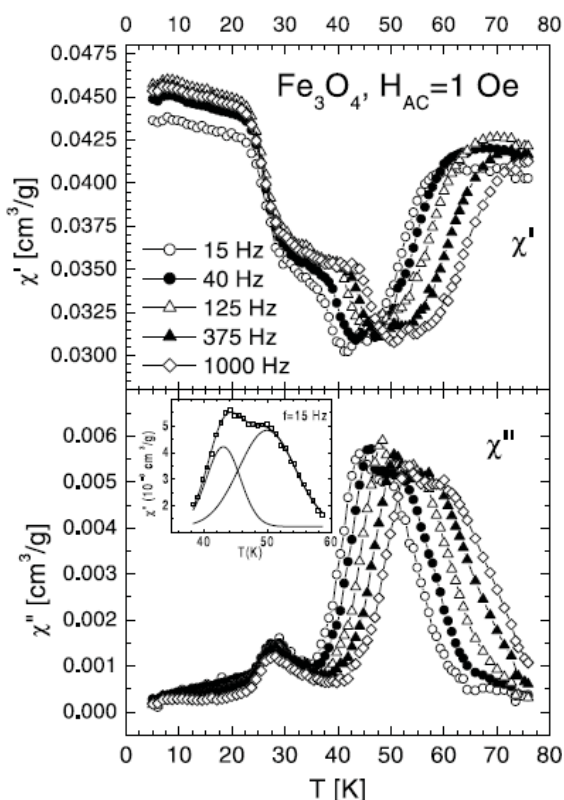


图 1. 磁铁矿在低温的异常磁化率行为。实部磁化率降低，虚部磁化率增加，同时具有频率特性。

Balanda et al., Magnetic AC susceptibility of stoichiometric and low zinc doped magnetite single crystals, *Eur. Phys. J. B* 43, 201–212 (2005)

## 研究进展

### 细菌哈磁一族

【孟庆勇】

虽然最蹩脚的建筑师从一开始就在脑中建成了房子，比最灵巧的蜜蜂还要高明，但蜜蜂建筑蜂房的本领，的确会使人类的建筑师感到惭愧。蜜蜂在 1.5 亿年前的侏罗/白垩纪之交就已经出现了，和植物出现的时间大致相同，这样老资格的蜜蜂在筑巢的时候有什么秘诀吗？还真有，它们在盖房子的时候竟然是靠地磁场为坐标的，如果你在蜂房旁边放一块强磁铁，保准这些蜜蜂会筑出模样

奇怪的豆腐渣蜂巢来。地球充满了磁性，这种场看不见摸不着，带着忧郁的气质遍布周围，蜜蜂对它非常的敏感。仿佛一种流行元素，人们不断的发现新的和地磁场有关的生物行为，鸽子、蝙蝠、鲸鱼、海龟、蜗牛、白蚁、知更鸟、某些鼯鼠都能准确的利用地磁场来选择它们移动的方向，甚至是细菌。

作为地球上最古老的生命体，细菌具有极强的生命力和适应性。有的细菌哈寒，喜欢在温度很低的地方安家落户；有的细菌哈热，甚至觉得深海的热液喷口区是最舒适的所在；有的细菌还哈酸，在 pH 小于 5 的环境中也能悠然自得；还有一种细菌呢，哈磁，和地球磁场之间有不得不说的故事。

早在 1975 年的时候就有人发现，有一种细菌在显微镜下观察时总是移向载玻片的一边，为什么，是因为那边风景独好吗？这群细菌偏执的可爱，是什么在影响它们？我们都做过那样的实验，把一些铁屑放在纸上，磁铁在纸下面移动，纸上的铁屑也跟着移动，这些铁屑是不是和载玻片上的那些细菌有些相似？的确，它们是在向着地磁场指明的方向移动。鸽子感应到地磁场是为了找到回家的路，这些细菌对地磁场的趋向性也带着朴素的目的。它们并不十分喜欢氧气，在水环境中，含氧量是随着水深度的增加而降低的，所以它们总是想往下游，可是它们那么小，几乎受不到重力的影响，茫茫大海，谁能告诉它哪个方向是下？不怕苦，不怕累，就怕找不着北。别说北了，连下都找不到的话，这些细菌可怎么活啊。幸好，它们有自带的罗盘，这些细菌在细胞内部会形成一些微小含铁具有磁性的磁小体，这些磁小体排列成链状，从而增加磁场感应能力，有了这些磁小体链就好办了。在北半球，地磁场的北极是以一定的角度向下的，“追北型”的细菌就



在地磁场的指引下逐渐移动到深水贫氧区，在自己喜欢的地方落户了；到了南半球，这种细菌就变成了“追南型”。

这是大自然赋予细菌的一种生存智慧吗？其实谈不上智慧，只是细菌适应外界环境变化的一种趋化行为，就像是大肠杆菌，有一丁点的食物落在周围的环境中时，它们总会像饥饿的人扑到面包上那样迅速的闻风而动扑将过去的。要说辨别方向，趋磁细菌这种识别上下的本事算什么，有一种多头绒泡菌，它们总能够找到闯过迷宫的最短路线，那才是方向识别专家，可趋磁细菌引起了人们更大的关注。趋磁细菌分布广泛，在池塘、湖泊、海洋甚至湿土污泥中都能找到，它的结构也不复杂，最主要的是体内有一链晶形独特、由膜包裹的磁小体。磁小体很小，一般在35-120纳米长，主要成分是磁铁矿，但是化学纯度高、粒度细而均一，这些磁小体链不仅能帮助趋磁细菌沿地磁场磁力线的方向运动，而且还有利于细菌储集能量和铁，调节细胞内的酸碱平衡和氧化还原环境，它们就像磁石一样牢牢的吸引住了生物学家、物理学家、材料学家、地质学家及环境学家等等。

那么这些磁小体是怎样形成的呢？虽然许多细节还不甚明了，但借助于分子技术，人们已经大致看出些端倪。铁是细菌生长所必须的无机离子，在趋磁细菌中，铁除了参与合成多种蛋白质以外，还得花力气制造磁小体，而趋磁细菌能产生一种铁载体，拥有一套高效的铁吸收系统，一点也不担心原材料的短缺；磁小体外都包裹着一层膜，是先有磁小体呢还是先有膜？是先有形式呢还是先有内容？这也是趋磁细菌们常扪心自问的哲学问题，而实验证明，磁小体膜确实是先于磁铁矿颗粒形成的，这层膜和细胞膜在结

构和成分上都很相似，羊毛出在羊身上，它可能是细胞膜内陷和收缩产生的；框架已经建好了，还需要蛋白质作为运输队帮助铁离子进入到磁小体膜中，然后经过一系列化学过程，磁铁矿晶体形成，一个磁小体也就新鲜出炉了。然而独木不成林，一个好汉还需三个帮，单个的磁小体是没法指引细菌沿磁场方向运动的，得有众多磁小体装配成链，才算是大功告成。这条链的组装过程就像可口可乐的配方那样还带着神秘色彩，但目前人们的研究表明，先是有些短链装配成熟，然后才形成一条片段化的直链。链接工作完成，磁罗盘已在手，趋磁细菌就可以得意的笑着，真正做到了“臣身一片磁针石，不指南方誓不休”，它们摆动着细细的鞭毛，径向微氧区游去。人们在观察火星的碳酸盐球时，发现了一些泪珠状细小晶体的磁铁矿，这和趋磁细菌的磁小体链岂不是很像吗？趋磁细菌是生命吗？当然，难怪人们要欢呼在火星上发现了生命痕迹了，那些该不会是趋火星菌留下的泪珠吧。但不可否认的是，非生物过程也有可能制造出这种磁铁矿。

同样是磁铁矿，趋磁细菌手工作坊里出来的品质就高很多，具有高纯度，高均匀度，表面积体积比大，晶形稳定，且无任何毒性，因此作为一种纳米磁性材料再合适不过。磁小体完全可以作为多种药物和大分子化合物的载体，在外加磁场的作用下变成制导导弹，直击肿瘤病灶区。实际上研究者已经利用原生质体融合技术，成功地将羊红细胞与趋磁细菌的细胞合二为一，获得了具有磁敏感性的融合子-磁性红细胞。磁性红细胞作为纳米生物机器人组成药物载体群，可以进行最优的、可控的、准确靶向以及高浓度的药物递送，从而有利于疾病的治疗。

人们为了治疗疾病费尽了心思，早就梦

想着能有纳米机器人在血管中穿行, 帮助清除血管中的胆固醇啊毒素啊, 维修我们各个不是今天坏就是明天出毛病的身体零件, 这个梦想正在逐步的变成现实。微型机器人尽管可以做的很小, 但也存在缺少姿态控制、灵活性欠佳等问题。而仿生学是一门一切山寨山寨一切的学问, 人们通过对趋磁细菌的仿生, 设计了新型的磁控微生物机器人, 可以实现对运行速度和方向的灵活控制, 终于“船小好调头”了。可以设想, 若真的实现了像在网络上上传文件一样的上传药物, 下载资料一样下载病灶信息, 那我们终于可以不用吃药了。

细菌也哈磁, 蜜蜂也哈磁, 那么人呢? 每克人脑组织中大约有 500 万个磁铁矿型晶体, 大多以 50 至 100 个结合成簇构成生物磁体, 稍强于地磁场的外界磁场就能影响它们, 人会不会也有某种趋磁性? 比如人体若顺着地磁场磁力线的南北方向睡眠的话, 睡眠质量会高一点, 而周围磁场的变化也会引起人的头疼脑热。人类想要前进的方向太多, 而对舒适环境的要求又很高, 不会像趋磁细菌那样容易满足的。不过, 搞磁学研究的人有时候会觉得命中注定就是要研究磁, 逐步的与磁学结下不解之缘, 这样大概就形成了一类趋磁的人群吧。

## Seminar 专栏

### 矿物磁学: 研究地球内部过程的新视角

Richard J. Harrison and Joshua M. Feinberg

【葛坤鹏, 蔡书慧, 赵翔宇】翻译

自然界中, 磁性矿物无处不在, 而且它

们在生物有机体中也广泛存在, 从细菌到人类, 无不如此。在过去的十年里, 观测地质学和生物学样本中磁性矿物的磁化状态的技术取得了显著的进步。这些矿物的磁学性质携带了大量的信息。矿物磁学(以及相关学科如岩石磁学, 古地磁学, 环境磁学和生物磁学)阐释这些信息并将其应用到更加广泛的地球科学领域中, 从火星磁异常的起源到地球古气候变化的定量分析。

关键词: 磁学, 磁性矿物, 磁学理论, 电子全息术

### 磁性矿物无所不在!

仔细观察任何一个地质样本, 你都会发现磁性矿物的痕迹。从岩石, 沉积物, 土壤到陨石, 极地冰, 洞穴堆积物, 自然界中的磁性矿物可谓无处不在。岩石和沉积物的磁学性质主要受其所含磁性矿物的含量, 粒径, 化学成分, 以及显微结构的影响。通常, 这些磁性矿物保留着其成岩时期的地磁场信息, 这些信息可以用来恢复大陆和海洋板块运动过程。这使其成为重建地球和其他行星的构造历史一个最有力的工具 (McEnroe et al. 2009)。由岩石和考古材料所确定的地磁古强度的变化, 已经被用来了解地磁场发电机的历史和行为以及约束地核流体运动的模型 (Tarduno 2009)。由陨石记录的磁信息使得我们可以研究太阳系早期的演化过程, 变质过程以及导致陨石从母体喷出的撞击事件。矿物学和磁性矿物的颗粒大小可以用来追踪古气候变化, 这是因为矿物的磁学性质对于诸如降水、温度、风力和生物生产力等气候变化具有高度的敏感性。例如, 通过研究中国黄土高原的磁化率变化发现其反映了两百万年前冰期和间冰期的旋回变化以及亚洲季风气候的变化情况, 是时间最长最精确的大陆气候变化记录。最近, 通过约束最大冰期

时冰筏碎屑的地理分布范围, 对海底沉积物的磁学测量已经被用来研究古海洋地理循环机制。另外, 磁学方法还可以研究人类污染物的扩散。比如, 由于汽车尾气中的磁性颗粒粘附在树叶上, 因此针对树叶的磁学测量可以研究该类污染问题。

除了地学方面的应用, 由于发现趋磁细菌中包含有亚微米级的磁性颗粒——这些磁性颗粒可以使这些细菌平行磁场排列, 因此可以在水中上下游动——已经使磁性矿物在生物学系统中的研究开辟了新的领域(Pósfai and Dunin-Borkowski 2009), 甚至有学者认为著名的火星陨石ALH84001含有磁细菌的化石遗体(McKay et al. 1996)。生物磁学已经被应用到研究诸如鱼类, 海龟, 以及鸟类如何通过测量磁场异常来利用体内磁性矿物进行数百公里的生物导航, 以及研究脑组织中的磁性矿物与神经组织退化疾病(比如Huntington舞蹈症, 老年痴呆症(Alzheimer's), 和帕金森症(Parkinson's))的可能联系等领域。磁性矿物也正被用于医学应用比如基因靶疗法, 即将治疗基因绑定在磁性纳米颗粒上, 并通过高场和高磁场梯度磁铁作用于靶细胞(Dobson 2008)。

### 何谓矿物磁学?

上述的这些应用都需要对磁性矿物的基本磁学性质和行为有一个全面的了解。这就是岩石和矿物磁学的研究领域。岩石磁学主要是研究自然界中岩石的磁化机制, 以及影响岩石在地质时间内记录可靠地磁场的因素(如果想明确地了解该领域, 读者可以参考Dunlop and Özdemir 1997)。另一方面, 矿物磁学, 研究的是磁性矿物的物理, 化学和热动力学性质, 以及这些磁学性质是如何被磁性矿物的结构和微观结构特征所影响的。

### 是什么使得矿物具有磁性?

地壳中铁元素占总质量的5%, 其丰度在金属元素中仅次于铝元素, 排在第二位; 在所有元素中仅次于氧, 硅, 铝, 排第四位。在陨石和月岩中, 金属铁是主要的载磁相, 而在地球上, 主要的载磁相是铁氧化物或者铁钛氧化物, 其中包含了二价铁离子和三价铁离子(见图1, 表1)。铁含有一个部分填充的3d电子壳层, 其中包含了一些未配对电子, 使铁本身具有一个永久磁矩(图2)。

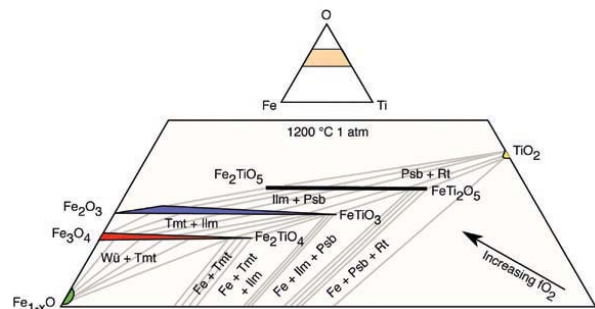


图 1 在 1200 °C, 1 atm 下的 Fe-Ti-O 三元相图, 阐明了地球岩石的主要磁性矿物组成。两个磁性固溶体系列分别是钛磁铁矿系列和钛赤铁矿系列。铁板钛矿固溶体(图中黑线所示)在室温下显示顺磁性。磁性端员分别是磁铁矿( $Fe_3O_4$ )和赤铁矿( $Fe_2O_3$ )。灰线指示两相共存组分。Tmt = 钛磁铁矿,  $Fe_2TiO_4$  = 钛尖晶石, Wu = 方铁体( $Fe_{1-x}O$ ), ilm = 钛铁矿( $FeTiO_3$ ); Psb = 铁板钛矿( $Fe_2TiO_5 - FeTi_2O_5$ ); Ru = 金红石( $TiO_2$ ); Fe = 金属铁。来自 LATTARD ET AL. (2005), REDRAWN AFTER GREY ETAL. (1974) 和 GREY AND MERRITT (1981)

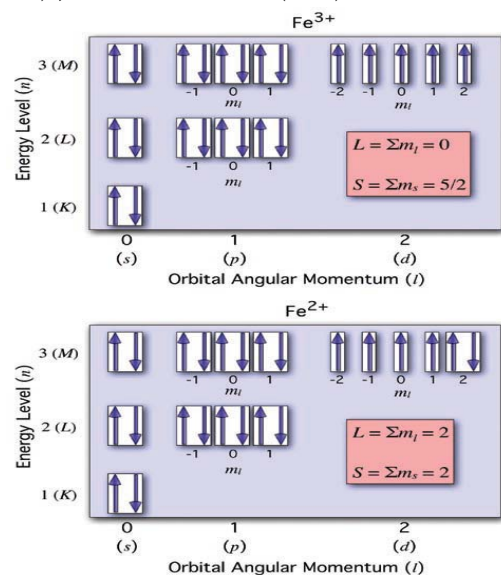


图 2,  $Fe^{3+}$  和  $Fe^{2+}$  离子的结构。箭头代表了电子“上”或“下”的 1/2 自旋。3d 壳层的未配对自旋电子分别在  $Fe^{3+}$  和  $Fe^{2+}$  产生  $5 \mu_B$  和  $4 \mu_B$  的磁矩。

表一: 部分矿物的磁学性质

矿物	化学式	磁性结构	居里/尼尔 温 度(°C)	饱和磁化强度 (A·m <sup>2</sup> /kg)
<b>氧化物</b>				
赤铁矿	$\alpha - Fe_2O_3$	斜交反铁磁性	675	0.4
磁赤铁矿	$\gamma - Fe_2O_3$	亚铁磁性	~600	70 - 80
钛铁矿	$FeTiO_3$	反铁磁性	-233	0
磁铁矿	$Fe_3O_4$	亚铁磁性	575 - 585	90 - 92
钛尖晶石	$Fe_2TiO_4$	反铁磁性	-153	0
镁铁矿	$MgFe_2O_4$	亚铁磁性	440	21
锰尖晶石	$MnFe_2O_4$	亚铁磁性	~300	77
镍尖晶石	$NiFe_2O_4$	亚铁磁性	585	51
<b>硫化物</b>				
硫铁矿	FeS	反铁磁性	305	0?
雌黄铁矿	$Fe_7S_8$	亚铁磁性	320	20
硫复铁矿	$Fe_3S_4$	亚铁磁性	~333	~25
<b>氢氧化合物</b>				
针铁矿	$\alpha - FeOOH$	反铁磁性/弱铁磁性	~120	<1
六方纤铁矿	$\delta - FeOOH$	亚铁磁性	~180	<10
纤铁矿	$\gamma - FeOOH$	反铁磁性?	-196	?
<b>金属与合金</b>				
钴	Co	铁磁性	1131	161
钴铁矿(wairauite)	CoFe	铁磁性	986	235
铁	Fe	铁磁性	770	218
镍	Ni	铁磁性	358	55
铁镍矿	$Ni_3Fe$	铁磁性	620	120
镍纹石	FeNi	铁磁性	550	?

\*数据来自 Hunt et al. (1995)



磁矩是通过电子自旋 (S) 的量子效应所产生的。每个电子具有 1/2 的自旋数并产生一个玻尔磁子的磁矩 ( $1\mu_B = 9.274 \times 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ )。Fe<sup>3+</sup> 在 3d 壳层中包含五个未配对电子 (S=5/2), 使其具有 5 个玻尔磁子大小的磁矩。Fe<sup>2+</sup> 包含四个未配对电子, 因此具有四个玻尔磁子大小的磁矩。另外在很多元素中电子的轨道角动量 (L) 也会产生磁矩。在 Fe<sup>3+</sup> 当中, 由于 3d 壳层中电子的半填充因此 L=0 (图 2), 使得轨道角动量对磁矩没有影响。在 Fe<sup>2+</sup> (L=2) 中, 由于周围氧配体的静电相互作用, 几乎所有的轨道贡献都可以被忽略 (淬冷现象), 使得电子自旋的贡献占总磁矩的主要部分 (95%)。

在绝大多数含铁矿物中, 邻近原子磁矩的相互作用并不强。在这种情况下, 热能使得磁矩不断地改变方向, 因此并无自发磁化, 处于动力学上无序的顺磁性状态 (图 3)。然而, 在磁性矿物中, 邻近原子磁矩的相互作用很强, 使原子彼此平行或者反平行排列 (方框 1)。当温度升高到一定程度时, 这种状态才会被破坏, 再次产生一个无序的顺磁性状态。当温度降低到“居里”或“尼尔”温度以下后, 交换能占主导并使磁矩自发排列。由于交换能的不同, 也就出现了多种有序磁性结构 (图 3), 其中有的矿物可以自发磁化产生一个净磁矩。在铁磁性矿物中, 所有的小磁矩都是相互平行的。反铁磁性包含两类磁矩大小相等方向相反磁性亚晶格, 所以自发磁化的结果是净磁矩为零。在亚铁磁性矿物中, 以磁铁矿为例, 包含两类磁矩大小不等方向相反的磁性亚晶格, 所以自发磁化产生了较大的净磁矩。以赤铁矿为例, 在斜交反铁磁性矿物当中, 自旋按一定的斜交角排列, 而非绝对的平行。所以自发磁化产

生了一个较小的净磁矩 (图 3)。

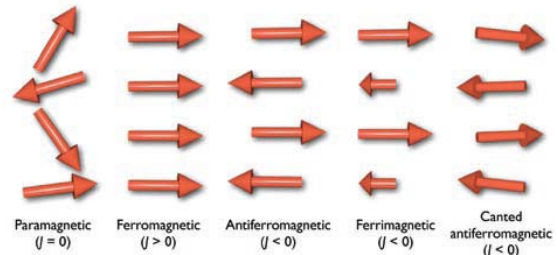
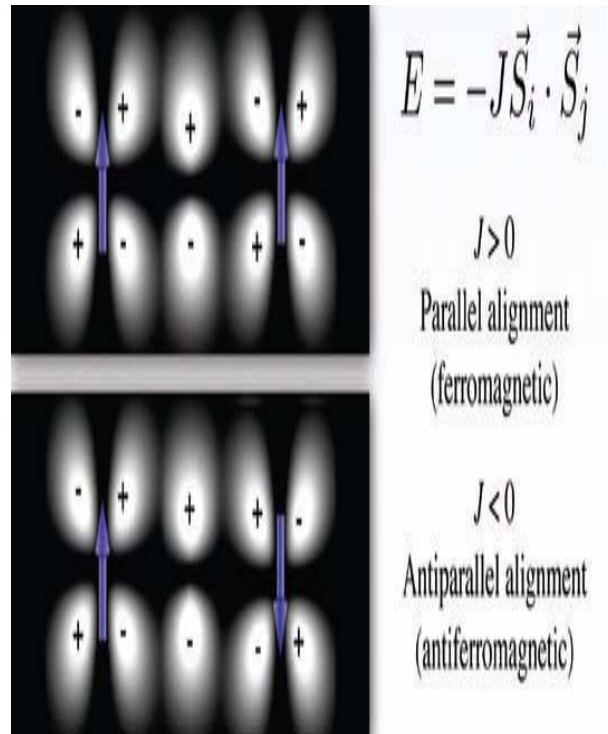


图 3, 无序和有序的磁性结构示例。箭头代表原子磁矩的指向。J=交换积分。

方框 1 交换相互作用

磁矩的定向排列是由一种叫做“交换能”的量子效应驱动的。当原子的电子云发生重叠时, 整个系统内电子的分布必须遵循泡利不相容原理 (即两个电子不可能同时处于一个量子状态)。这意味着, 如下图所示, 相邻铁原子平行的电子自旋与反向平行的电子自旋的电子密度分布必然是不同的。这就使系统内的静电能变得不同, 从而选择某一模式而不是其他别的模式。两张图显示的都是氧化物中的电子云排列情况, 这种通过氧原子进行重叠的电子云的排列方式, 这个过程又叫做“超级交换”。暂且不管它们复杂的量子机制, 交换相互作用和超级交换相互作用可以利用含有交换积分 J, 铁原子的自旋 S<sub>i</sub> 和 S<sub>j</sub> 的简单的数学公式表达。当 J>0 时, 即 S<sub>i</sub> 平行于 S<sub>j</sub>, 交换相互作用能最小 (铁磁性排列)。J<0 时, 即 S<sub>i</sub> 反平行于 S<sub>j</sub>, 交换相互作用能最小 (反铁磁性排列)。



在无外加场作用的情况下，有序结构的磁矩通常会自动排列在磁晶“易磁化轴”方向上，这种所谓“磁晶各向异性”的现象，来自电子自旋和轨道贡献的耦合作用。每种结构都具有两个或两个以上的易磁化轴，它们被“难磁化轴”所分开。作为磁化方向的函数，磁能的变化也可以用能量面表示，该表面上磁能最小区（易磁化轴）被能垒（难磁化轴）分隔开来（图 4）。各向异性是矿物磁学中的一个最重要的概念。一旦磁性颗粒沿易磁化轴磁化，那么只要热能的大小不超过能垒，磁化方向将一直保持不变。这种情况下就说剩磁被“阻挡”了，剩磁将稳定的保存超过百万年甚至是几十亿年之久。如果温度超过了颗粒的“阻挡温度”，那么由于热能的扰动，磁化状态“解阻”并在几个易磁化轴之间摇摆，剩磁也会因此而消失。这种状态被称为“超顺磁状态”。所以，各向异性是获得剩磁的关键，没有了它，古地磁学领域将不复存在。

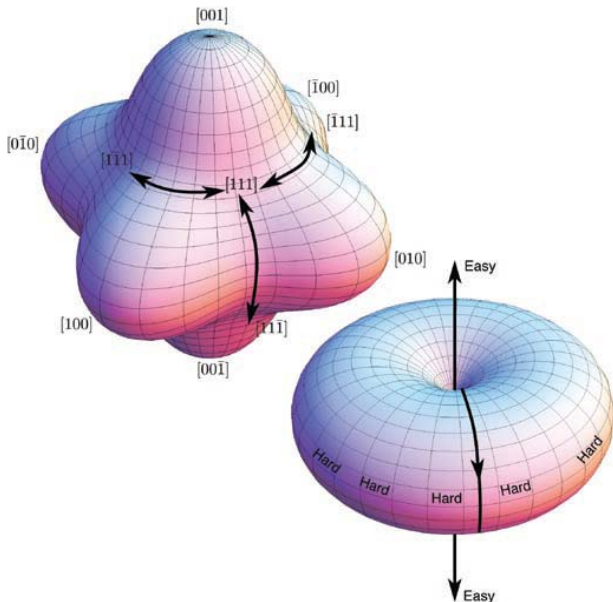
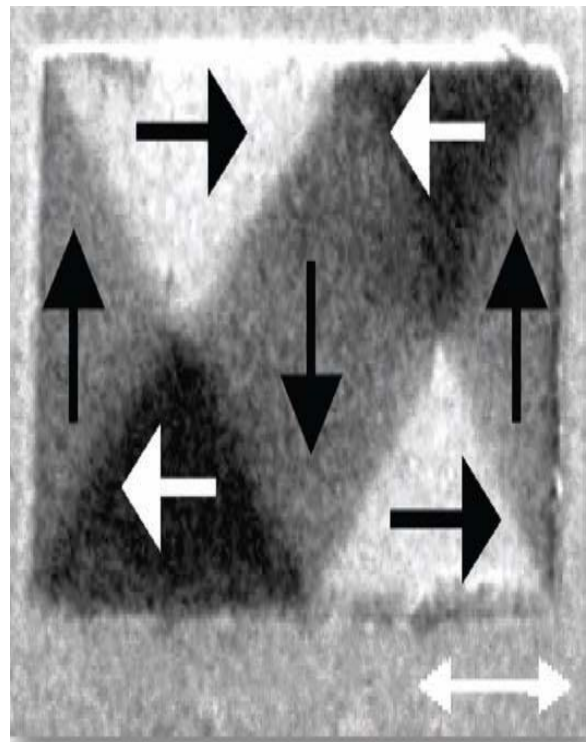
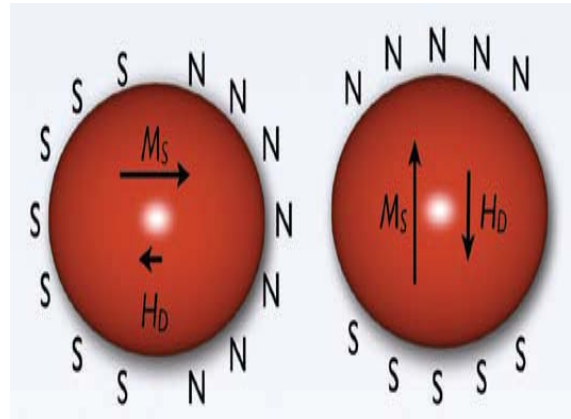


图 4，磁各向异性的表面能量图。沿着“难”磁化方向磁化能量最高，沿着“易”磁化方向磁化能量最低。左上图展示了室温下磁铁矿的磁晶各向异性（易磁化轴是 $\langle 111 \rangle$ 方向，难磁化轴是 $\langle 100 \rangle$ 方向）。右下图是拉长针型磁铁矿的单轴形状各向异性。易磁化轴平行于拉长方向。

方框 2 退磁场

当磁化强度( $M_s$ )穿过磁性颗粒表面时，会使表面产生北极(N)或者南极(S)“磁荷”。当沿其长轴磁化时，N极与S极的距离要远于垂直长轴方向的磁化。表面磁荷将产生一个与外加磁场方向相反的内部磁场（从N极指向S极）。因为退磁场随着磁极距离的增加而减小，所以沿长轴磁化的退磁能要比垂直长轴磁化的能量低。通过将颗粒分割为一系列的磁畴可以使磁化方向平行于颗粒表面，从而近乎消除颗粒表面的磁荷和退磁能。



对于许多矿物，如磁铁矿，单单依赖磁晶各向异性还不足以有效地记录剩磁。在这种情况下，非固有的各向异性发挥了作用。它是由于单个颗粒拉长的形状引起的。当我们用磁铁摩擦钢针使其磁化时，磁化方向都是拉长方向而非其垂直方向。“形状各向异



性”的起源可以看成是分布在颗粒表面的磁极(方框 2)。对于一个无限长的针状物,沿针形拉长方向磁化所需要的能量要比沿垂直方向磁化所需的能量小 2 倍。换句话说,将无限长磁针反向磁化需要 300 millitesla (mT) 的外加磁场,即比地磁场要高出 4 个数量级。

当以下四种主要能量的总和最小时,磁化状态将达到平衡:

- **交换能**(方框 1) 影响磁矩的有序状态,可以通过使相邻磁矩方向平行或者反平行排列而达到最小。
- **各向异性能**(图 4) 可以通过使磁化方向沿着易磁化轴而达到最小。
- **退磁能**(方框 2) 可以通过使表面磁荷尽可能得远离而达到最小,或者可以通过分割成一个个磁畴而消除。
- **静磁能**(方框 3) 代表了外场效应,可以通过使本身磁矩方向同外场平行而达到最小(正如指南针旋转后最终停在地磁场方向上一样)。一个磁性颗粒所经受的外场包括外加磁场(如地磁场)和该岩石中由其它磁性颗粒产生的相互作用场。

计算机可以用来有效地计算这些能量(图 5)。计算的结果很大程度依赖于颗粒的大小和形状。对于小于临界粒径的颗粒(对于磁铁矿来说,相当于约 65nm 大小的等轴颗粒),交换能起主导作用,所以颗粒一致的沿着易磁化轴磁化。这些颗粒就是所谓的单畴(SD)颗粒。对于接近临界粒径的颗粒来说,退磁能开始起主要作用。由于颗粒试图去消除表面极性,所以磁化方向变得不再一致。这个过程发生时,磁化方向表面出现偏转,形成花状结构(图 5A)。超过临界粒径后,花状结构变得不再稳定,而演化成高度不一致的漩涡状态(图 5B),此时磁力线沿

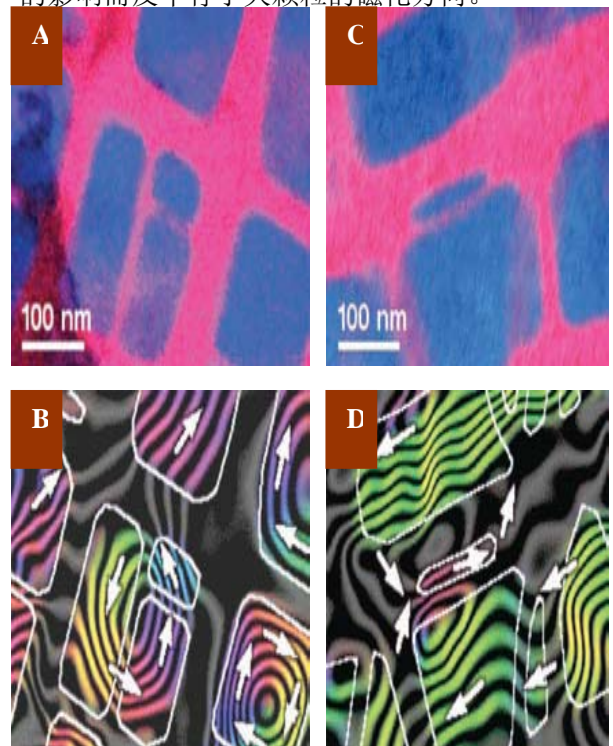
着中心磁核弯曲,通过消耗交换能和各向异性能使退磁能达到最小,并消除了表面极性。

方框 3 磁相互作用与磁性超态/整体磁性状态(superstate)

一个磁性颗粒就像一个小的条形磁铁,围绕在它外部的磁场会吸引或排斥周围的磁性颗粒。右图展示了一个取自趋磁细菌细胞的 50nm 左右的磁铁矿颗粒产生的磁通量。颗粒的大小在单畴颗粒的范围内,因此内部具有一致性。利用电子全息术可以清晰地观察到这个由颗粒产生的似偶极子场。



当颗粒之间的距离小于它们的大小时,磁相互作用变得非常重要。下图给出了在顺磁性钛尖晶石中,自然出溶生成的磁铁矿共生体(图 A 和图 C 中的蓝色部分)的磁力线分布状态(Harrison et al. 2002)。在图 B 中,我们可以看到边缘处 2 个超过单畴颗粒大小,约 100nm 的磁铁矿颗粒,呈常规的漩涡状态。顶上的磁铁矿是亚稳的单畴颗粒。中间,3 个单畴大小的磁性颗粒由于强烈的静磁相互作用而一起产生了一个漩涡状的磁性“超态”(“整体状态”)。图 D 中,一颗拉长型的小颗粒由于受周围大颗粒产生的偶极子场的影响而反平行于大颗粒的磁化方向。



这种颗粒被称作假单畴(PSD)颗粒。当然粒径超过临界值后,颗粒仍然可能保持亚稳定

的单畴状态，特别是当其与周围的颗粒有很强的相互作用时（方框 3）。对于更大的颗粒，只有通过将颗粒用磁畴壁分解为一个个磁畴才能使能量达到最小（方框 2）。这就是所谓的多畴（MD）颗粒。

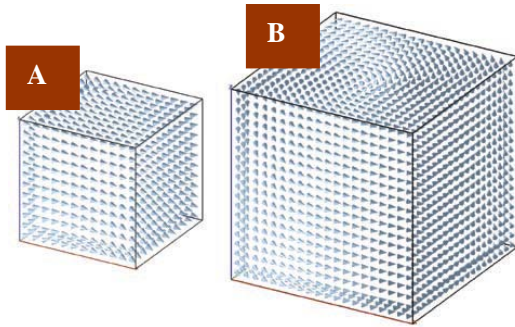


图 5, 微磁模拟展示了 60nm 大小磁铁矿颗粒的花状结构 (A) 和 100nm 大小磁铁矿颗粒的漩涡状结构 (B)。

SD 颗粒是岩石磁学的理想对象。它们携带非常稳定的剩磁，而且基于路易斯·尼尔开创性的工作，已经有完善的理论描述 SD 颗粒性质随温度，时间和外加磁场的变化规律。事实上，很多的古地磁技术，比如那些用来求取古地磁强度的技术，只有当岩石主要含有单畴颗粒时才有效。遗憾的是，大多数天然样品的粒径分布很宽，即主要包含 PSD-MD 颗粒。由于这些颗粒的存在，使得有选择的退去它们的剩磁已经成为岩石和矿物磁学的一个主要挑战。

### 新的进展

随着岩石磁学和古地磁学应用的不断拓展，矿物磁学变得越来越重要。最近目光又集中在纳米级的磁学过程上。在磁性矿物中纳米级微结构是广泛存在的，并且对其宏观的磁学性质具有重要影响。矿物磁学中最重要一个进展就是离轴电子全息术的应用，即用透射电镜（TEM）产生纳米级分辨率的二维磁化强度矢量图。电子全息术能够对单个颗粒的磁化强度矢量场成像，也能够对颗粒之间的静磁相互作用场进行成像。二者在磁学和微观结构的关系中起到主要作用。

### 纳米级磁通量成像

在绝大多数火山岩和变质火山岩中，主要的磁铁矿颗粒均超过了 MD 颗粒标准。与含 SD 颗粒的岩石相比，这些岩石不太可能保存很强的稳定的天然剩磁（NRM）。然而，很久以前就曾提出，一些固化(固态?)过程如脱溶过程可以使一个 MD 颗粒转变为一些 SD 颗粒，从而增加 NRM 的稳定性（Davis and Evans 1976）。这种变化是通过生成交错的顺磁性出溶薄层引起的，它将一个主颗粒分为三维阵列形的独立磁铁矿区域，每个区域都有 SD-PSD 的大小。这从磁铁矿-钛尖晶石（ $Fe_3O_4 - Fe_2TiO_4$ ）的固溶体（Davis and Evans 1976; Price 1980）中给出了很好的例子。中部大的混合物在缓慢冷却中出溶，产生了 SD-或者 PSD-大小的富磁铁矿颗粒，它们被非磁铁矿，富钛尖晶石层分隔开来。图 6 展示了一个出溶的钛磁铁矿的典型微观结构（Harrison et al.2002）。这是一张利用能量过滤式透射电镜成像的合成化学矿图，蓝色（磁铁矿）表示 Fe 的分布，而红色（钛尖晶石）表示 Ti 的分布。由于钛尖晶石层平行于{100}平面，在沿{100}方向定向的 TEM 切片上就出现了立方磁铁矿颗粒的矩形阵列。

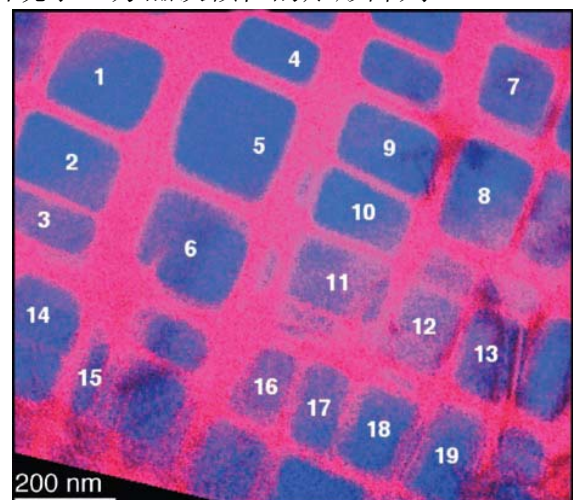


图 6, (Fe=蓝色, Ti=红色) 一个出溶钛磁铁矿晶体的合成化学矿图。展示了在顺磁性钛尖晶石矩阵中的磁铁矿颗粒。

Harrison et al.(2002) 使用电子全息术观



察了这种共生物的剩磁状态 (图 7)。这些磁性颗粒主要是 SD 颗粒。这些颗粒的尺寸意味着绝大多数颗粒在孤立状况下的剩磁都会处于涡旋状态。然而颗粒间的强相互作用使之处于 SD 状态, 如图 8 所示。其中一些颗粒共同作用而形成磁性“超态”, 其状态类似于在较大的单独磁性区域中常出现的情况。一个例子就是两个或多个颗粒相互作用构成一个漩涡超态 (方框 3)。在图 7 中可以发现两个, 三个, 和五个颗粒组成的漩涡超态 (如, 参照图 6 的编号方式, G 中的 1 和 2 颗粒, E 中的 1, 2, 3, 5, 6 颗粒)。粗略一看, 相互作用的磁性颗粒剩磁大小总和应该为零, 但重要的是这种磁性超态确实产生了有效的剩磁。

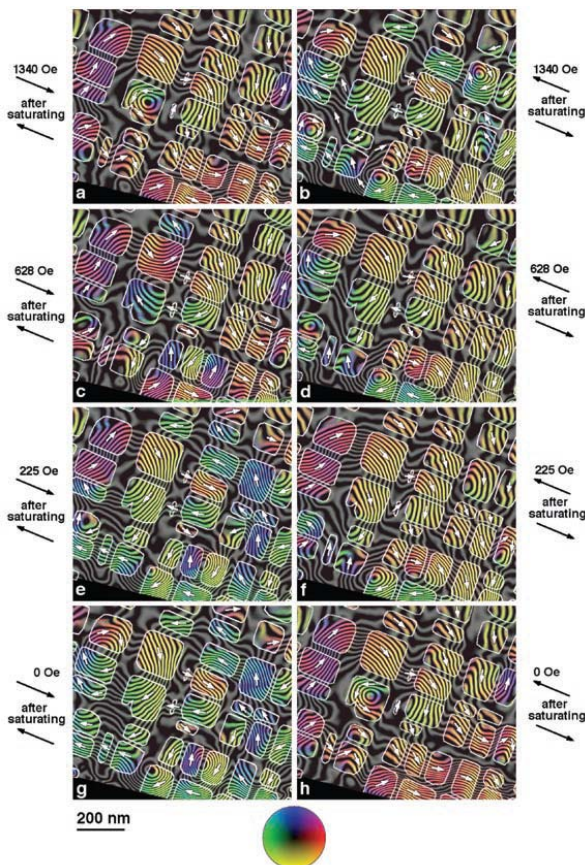


图 7 通过电子全息术的得到的图 6 中相应磁相的轮廓。富磁铁矿的区域标志为白色, 磁感应强度的方向用箭头和底图的颜色轮来表示 (红色=右, 黄色=下, 绿色=左, 蓝色=上)。A, C, E, G: 通过施加左上方向, 1T 大小的磁场, 然后沿右下方向施加所示磁场而得到的结果 (0e=oersted)。B, D, F, H: 同样顺序但改变加场方向获得。

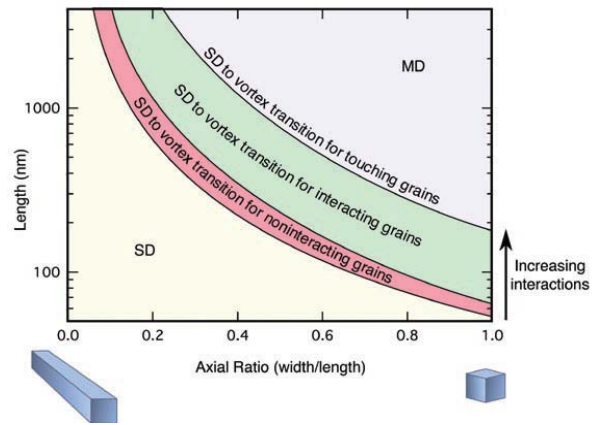


图 8 作为粒径, 形状, 颗粒间距函数的磁畴状态图。修改自 Muxworthy and Williams (2006)

### 将来的发展趋势

矿物磁学在许多前沿研究中以惊人的速度发展, 本文提到只是其中的一小部分。研究者们正在利用从其他学科的相关技术来研究纳米级磁性矿物的磁学特征。其中一个有前景的技术是来自材料科学的聚焦离子束 (FIB) 研磨法, 即利用电离的镓原子切割样品中研究者感兴趣的部分, 制成以适用于透射电镜的分析的可以让电子穿过的薄片。这就使研究者可以专注于与研究密切相关的部分。FIB 研磨法是传统氦离子研磨技术的改良。

另外一个激动人心的进展来自超导量子扫描显微镜 (Rochette et al. 2009), 具有可以进行 100 微米颗粒古地磁研究的潜力。这种扫描技术为测量标准薄片的剩磁分布提供了方法。

气候变化和人类污染会影响土壤与沉积物的化学和粒度变化, 研究人员在积极探索如何利用磁学方法更加直接和定量地研究这种变化的过程中推动环境磁学日趋成熟。

我们希望这一期 Elements 的文章能够呈现一些矿物磁学领域的亮点, 能够示范如何利用矿物磁学性质, 来了解和认知从生物矿化作用到全球气候变化, 再到行星地质学这包罗万象的地质过程。

【本文译自 Harrison RJ, Feinberg JM. Mineral Magnetism: Providing new insights into geoscience processes. Elements, 5, 209-215, 2009.】

### 参考文献 (略)

#### 术语表:

**非磁滞剩磁 (ARM):** 在稳定降低的交变场中外加一直流偏转场而获得的人工剩余磁性。ARM 最容易为 SD 颗粒所携带。

**各向异性:** 是指磁性颗粒的能量随磁矩方向的变化而变化。

**反铁磁性:** 是指两种大小相等, 方向反平行的铁磁性亚晶格共存的磁序状态。

**阻挡温度:** 是指这样一个温度: 当低于此温度时, 磁性颗粒的磁矩长期沿易磁化轴排列; 高于此温度时, 热扰动使得磁矩在两个易磁化轴之间不断地摆动。

**玻尔磁子:** 单个不成对电子的磁矩 ( $1\mu_B = 9.274 \times 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ )。

**斜交反铁磁性:** 是反铁磁性的一种派生, 是指两种铁磁性亚晶格并非完全反向平行, 因此而产生了一个小的净磁矩。

**化学剩磁 (CRM):** 是指暴露在磁场中的磁性矿物经历了某种化学变化 (比如氧化) 而获得的剩余磁性。

**矫顽力:** (在该矿物饱和磁化以后) 将磁性矿物的磁化强度降为零值所需要的磁场强度。

**居里温度:** 高于此温度时, 铁磁性或亚铁磁性矿物磁矩的自发排列消失。

**退磁场:** 由于磁性矿物表面存在未获补偿的磁极而在其内部产生的磁场叫做退磁场。退磁场随磁性颗粒几何形状和磁化方向的变化而变化, 由此产生了形状各向异性。

**碎屑剩磁:** 磁性颗粒在沉积过程中, 因暴露在外磁场中发生物理转动和排列而获得的剩磁。

**易磁化轴:** 从磁能角度考虑, 磁性颗粒的磁矩优选的排列方向。

**亚铁磁性:** 是指两种铁磁性亚晶格大小不等, 磁矩方向反向平行的磁序状态。

**铁磁性:** 是指磁矩相互平行的磁序状态。

**频率磁化率:** 描述不同频率交变磁场下测得的磁性矿物磁化率差异的参数。经常用来识别阻挡温度附近 SP 颗粒的存在。

**难磁化轴:** 磁性颗粒中磁矩的磁能最大方向。

**低温磁化率:** 测量低于室温的矿物磁化率。经常用来鉴别磁性矿物的存在, 比如磁铁矿和赤铁矿, 它们在低温时具有标志性的性质。

**磁场:** 分布在磁体和电流环周围的矢量场。在磁场中, 磁偶极子趋向于使极轴平行于磁场。磁场可以以“磁场强度  $H$ ”来测量, 单位是  $\text{A/m}$ , 或者以“磁感应强度  $B$ ”来测量, 单位是特斯拉 ( $\text{T}$ ) (注意:  $B = \mu_0 H$ ,  $\mu_0$  指真空中的磁导率)。

**磁矩/磁偶极距:** 描述磁体磁学性质, 即其周围的磁偶极场的大小和方向的物理量。磁矩的测量单位是  $\text{A} \cdot \text{m}^2$ 。

**磁化率:** 衡量单位外加磁场下材料磁化强度的变化。对于体积归一化的磁化强度, 磁化率是无量纲单位。对于质量归一化的磁化强度, 磁化率的单位是:  $\text{m}^3/\text{kg}$ 。

**磁化强度:** 单位体积的磁矩 ( $\text{A/m}$ )。质量归一化的磁化强度单位是  $\text{Am}^2/\text{kg}$

**磁晶各向异性:** 原子内来自自旋和轨道耦合产生的磁矩的各向异性。

**天然剩磁 (NRM):** 描述岩石在天然过程中所获得的剩余磁性 (与之相对应的是在实验室外加场下所获得的人工剩余磁性)。

**尼尔温度:** 高于该温度时, 反铁磁性磁矩的自发排列消失。

**轨道动量:** 电子围绕原子旋转产生的角动量, 并由此产生了轨道磁矩。

**顺磁性:** 在热扰动下, 磁矩随机指向的磁无序状态。

**淬冷:** 轨道(角动量)对原子磁矩的贡献的减少, 这是由于外部未配对电子同配位体周围的电子云相互作用导致的。

**剩余磁化强度:** 即在外加磁场移除后, 磁性颗粒剩余的磁化强度大小。

**形状各向异性:** 由于磁性颗粒的形状而产生的各向异性。它来源于依赖磁体形状的退磁场作用。

**冲击剩磁 (SRM):** 矿物经历物理冲击所产生的剩余磁性, 这在陨石研究中尤其重要。

**自旋:** 这是微观粒子如中子, 电子的量子特性, 这使得它们具有一个内禀磁矩。

**热剩磁 (TRM):** 是指磁性矿物在外加磁场下冷却到阻挡温度以下过程中所获得的剩磁。

**粘滞剩磁:** 一定温度下, 将磁性矿物暴露在恒定磁场中随时间推移逐步获得的剩磁。

## 实验专栏

### 古地磁与年代学实验室常规检查项目说明

#### 新、旧超导常规检查

新、旧超导磁力仪的常规检查记录一共包括 8 项, 分别为: 记录日期、记录时间、记录人姓名、动力间温度值、压缩机压力值、杜瓦瓶压力表压力值、杜瓦瓶尾气值和 x、y、z 三轴磁矩。

**动力间温度值 (<25℃):** 动力间要保持较低的温度, 以利于室内仪器散热, 一般应该低于 25℃。高于 25℃ 时可把大门或风扇打开, 以便降温; 同时, 观察房间内中央空调是否正常工作, 若空调停止工作, 需立即向相关人员反映, 打开空调。尽量不要打开窗户, 以免灰尘进入动力间。

**压缩机压力值 (260-290kPa):** 压缩机压力表记录的是氦气的压力值, 间接反映氦气的温度和含量, 正常情况下在 260-290kPa 之间, 低于 260kPa 说明氦气含量不足, 可能存在漏气现象, 应提醒相关人员检查氦气管

道并补充氦气; 高于 290kPa 说明氦气温度过高, 应及时找出问题并解决 (如压缩机出现异常、动力间温度过高等)。

**杜瓦瓶压力表压力值 (1-2Kpa):** 压力表的读数反映的是杜瓦瓶中液氦上方氦气的压力值, 该压力值间接反映液氦的温度。液氦温度升高, 则上方氦气增多, 压力增大, 反之则压力减小, 如果发现压力值持续上升, 说明液氦温度升高, 应及时反映并找出原因;

**杜瓦瓶尾气值 (<60cc/min):** 反映排出的氦气量, 尾气值高表明排出的氦气量多, 说明液氦温度偏高, 一般尾气值应小于 60cc/min; 若尾气为 0cc/min, 可能气路出现堵塞, 应及时反映 (注意: 尾气表最下面的刻度不是 0 刻度)。

**x、y、z 三轴磁矩:** 不做实验时, 该值应比较稳定; 实验时, 可记录为“实验中”。

#### MPMS 常规检查

MPMS 的常规检查记录一共包括 8 项: 日期、时间、液氦压力值、氦气含量、system 温度值、set 温度值、升/降温速率和压缩机压力值。

液氦压力值应小于 38kPa, 如超过该值, 应及时反映;

氦气含量值应大于 55%, 如果显示值低于 55%, 应及时反映;

压缩机压力范围一般为 1.8-2.5MPa, 绿灯亮说明正常工作, 红灯亮说明存在有异常, 应及时找出问题进行解决。

#### 其他检查项目

动力间功放是否关闭, 若超导未进行交变退磁或 ARM 加场等相关实验, 功放应关闭。

VFTB 房间的电源是否关闭, 氦气瓶开关是否关闭。

循环水温度是否过高, 若温度过高, 应提醒实验人员暂停 J-T 实验。

每月换班时, 当月值班人要做好交接工作, 负责通知下一个月的值班人并交待好记录内容及注意事项, 确保实验室所有仪器正常有序的运行。

实验室是大家共同工作和学习的地方, 需要每个人用心呵护, 方便自己也方便他人。

## 重点连载

### 纳米磁性矿物的研究方法

【李金华】

#### 0 前言

磁性矿物在岩石、土壤、沉积物(如海洋沉积物和风成黄土)、洞穴堆积物(如钟乳石)、陨石等各种自然样品中广泛分布。地质体中磁性矿物的种类和含量、粒度和排列方式、晶体结构和晶体化学组成、及其磁学性质蕴含丰富的地质过程和环境演化等信息(Dunlop and Özdemir, 1997; Evans and Heller, 2003)。矿物磁学(mineral magnetism)研究大体分为理论研究和应用研究两个方面(Dunlop and Özdemir, 1997; Evans and Heller, 2003)。前者以岩石磁学为代表, 主要研究各种磁性矿物的基础磁学性质和磁学行为、矿物的载磁机理和磁畴结构等(Dunlop and Özdemir, 1997)。后者则以古地磁学和环境磁学为代表, 利用岩石、沉积物、陨石甚至一些考古材料等地质体中磁性矿物的磁记录来重构地球和其他星球的构造演化历史、理解地球内核流体运动过程, 或作为有效的替代性指标重构古环境或快速监测现代环境变化(Evans and Heller, 2003; McEnroe et al., 2009; Rochette et al., 2009; Tarduno, 2009)。近年来,

随着多种岩石磁学方法和技术的发展, 尤其是透射电子显微镜(TEM)技术可以在纳米尺度上直接研究磁性矿物的成分、晶体结构、化学组成和微磁结构等信息, 极大地推动了矿物磁学的理论发展及其在古地磁学和环境磁学等领域的应用(Harrison et al., 2002; Harrison et al., 2007; Harrison and Feinberg, 2009)。

自上世纪 60 年代以来, 磁性矿物还在细菌、藻类、软体动物(如石鳖)、昆虫、鱼类、鸟类、甚至人体的大脑组织等生物体中被陆续发现(Blakemore, 1975; Dearaujo et al., 1986; Gould et al., 1978; Kirschvink et al., 1992; Lowenstam, 1962; Lowenstam, 1981; Walcott et al., 1979; Walker et al., 1984)。研究表明, 生物体内的这些磁性矿物多为纳米尺寸, 具有独特的晶体结构和物理结构, 与生物体的地磁场响应作用、新陈代谢和铁毒性解除等生命活动密切相关(Pósfai and Dunin-Borkowski, 2009)。此外, 生物成因磁性矿物在多种地质体被识别出来, 并被作为生物标识分子(biomarker)来追溯地球生命起源、探索地外生命遗迹和作为潜在的替代性指标重构古环境等(Kopp and Kirschvink, 2008; McKay et al., 1996; Paasche et al., 2004; Schumann et al., 2008; Snowball et al., 2002; Snowball, 1994; Sukumaran, 2005; Thomas-Keprta et al., 2000; Thomas-Keprta et al., 2002; Winklhofer and Petersen, 2007)。生物成因纳米磁性矿物的研究迅速推动了矿物磁学与生命科学、地球科学、物理学和材料科学等学科的结合, 拓展了生物磁学的研究范畴, 使生物磁学发展成为一门综合使用矿物磁学、现代物理学和生命科学等研究手段, 揭示磁性矿物的磁学特征、生物矿化机制及其生物学功能等。由于生物体内的磁性矿物通常具有粒度小和含量



低等特征, 检测和研究的难度大, 要求使用先进的岩石磁学和 TEM 技术相结合进行研究。

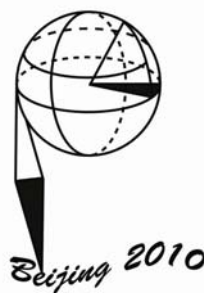
趋磁细菌 (magnetotactic bacteria, 简称 MTB) 是一类能在细胞内合成有生物膜包被的、纳米尺寸、单磁畴 (single magnetic domain, SD) 的磁铁矿 (magnetite,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 或胶黄铁矿 (greigite,  $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ) 晶体颗粒的原核生物的总称 (Bazylinski and Frankel, 2004; Blakemore, 1975; Blakemore, 1982; Faivre and Schüller, 2008; Frankel, 1982)。这些磁性颗粒被称为磁小体 (magnetosome), 在细胞内多呈链状排列 (Balkwill et al., 1980)。磁小体链是趋磁细菌独特的组织器官, 作为细胞的“生物磁针 (biocompass)”, 感知地磁场, 使其沿地磁场磁力线定向或游弋, 这种行为被称为趋磁性 (magnetotaxis) (Blakemore, 1975)。趋磁细菌的趋磁性有助于它们在水体中定向运动并快速寻找到其最适合的生态位 (Bazylinski and Frankel, 2004)。研究表明, 磁小体的合成和磁小体链组装均受趋磁细菌基因、蛋白质和细胞水平的严格调控, 是生物控制型矿化 (biological controlled mineralization, BCM) 的典范 (Bazylinski et al., 2007)。趋磁细菌在自然界分布广, 且个体小、数量多、繁殖快、磁铁矿含量高、磁场响应能力强, 容易在实验室开展各种相关研究工作, 因此, 趋磁细菌及其磁小体是认识生物矿化和开展生物地磁学研究的最佳模式材料之一, 其研究有助于深入理解生物地磁响应机理和磁性矿物生物矿化机制, 在纳米矿物磁学研究中也占有重要地位 (Pan et al., 2004)。

本文将在简要介绍矿物磁学和物质磁性的基础上, 结合趋磁细菌磁小体的研究实例, 重点对纳米磁性矿物研究中常用的岩石磁学手段和 TEM 技术进行详细介绍。

## 文化动态

受国家自然科学基金委员会和中国科学院的资助, 中国科学院地质与地球物理研究所古地磁学与地质年代学实验室将举办“地球与行星内部”国际学术会议。

会议主题为 Earth's and Planetary Interiors: Observations and Numerical Models of Paleomagnetism and Planetary Magnetism, 会议将对地球与行星磁场的实验、观测和数值模拟等方面开展深入研讨, 本次会议将有约 30 个特邀报告, 涉及行星与地球磁场、地磁发电机模型、地球与行星内部过程等内容。欢迎国内外同行参加, 会议提供 poster 展示位置, 但需要注册。本次会议免注册费, 食宿自理。



会议主席: 朱日祥 院士  
张可可 教授

时 间: 2010 年 7 月 7~11 日

地 点: 北京

注册时间: 2010 年 4 月 30 日之前

详细内容详见会议网站:

<http://www.paleomag.net/index.php?mod=meeting>

### 悼念朱老先生

【张春霞】

傍晚回家时经过所公告栏, 首先映入眼帘的是《朱岗崑先生治丧委员会》的通知, 在那一刻很是心惊, 怎么可能? 再仔细看,



傍边就是关于朱老先生逝世的讣告，难过的感觉一下子涌上了心头……现在，静坐下来敲着如上的文字时，自己已是禁不住泪流满面，那难过的感觉被压抑到现在，终于随着泪水奔涌而出……

朱老先生走的是这样的突然，年前的时候还在办公楼前遇到他来着。每次遇到先生时，他都特高兴，拉着我的手，问我最近忙不忙，过的好不好。上次遇见他时，由于他有事，只匆匆忙忙地说了几句话，他说下次再细说哈。他的话语仿佛还响在耳边，他那向我挥手的身影仿佛还在眼前，先生怎么说走就走了呢？一想到此情景，泪水就禁不住扑簌簌直下。

在实验室这么多的后辈学生中，我是和朱老先生接触比较多的一个，先生对我的关心也最多。初识先生是在 04 年，那时实验室中午统一订饭，实验室的学生每个周轮流给先生送饭。我第一次去给先生送饭时，还差点找不到他的办公室，因为朱老先生是老师的老师，进他办公室时心里还有些忐忑不安，打算放下饭就走。没想到朱老先生是个极为

和蔼的人，见我第一次来，示意我坐下来后，和我拉起了家常，问我叫什么名字，哪里人，在这边做什么研究方向……一下子消除了我的紧张感。到第二次再见到他时，没想到他竟然记得我的名字，要知道那时他已经是将近 90 岁高龄的老人，这让我很是感动。先生对我做的研究方向比较感兴趣，每次遇到他时，总要问我研究进展的情况，并给我以诸多有益的建议；有时先生也会和我聊一些关于生活的话题，偶尔会讲他的那个年代，也会谈起他的学生如朱老师等读书时的情景……随着和朱老先生接触渐多，自己越来越喜欢朱老先生这个在学术上一丝不苟，在生活中和蔼可亲的老人。

在学术方面，朱老先生绝对是个活到老学到老的典范。听我说起“环境磁学”这个字眼时，先生就很感兴趣，让我拿些相关的文献给他看。我于是拿了中文版本的《环境磁学》书给他，没过几天先生就看完了，他说感觉翻译的不好，很多地方存在错误，让我找英文原版的给他看。后来我把 86 版和 2002 版的英文书籍都拿给了他，且找了和环境磁学有关的另一篇 review 的文章给他，不到一个周的时间，他就看完了，且在他认为重要的部分加了批注页，让我仔细阅读。朱老先生在年轻时在英国牛津大学获得博士学位，他的英文水平相当高，07 年我博士毕业那年，先生曾帮我修改过博士论文的英文摘要，后来我博士毕业答辩时，朱老先生更是我的论文答辩评委之一。虽然不是朱老先生的弟子，先生待我却如弟子般给了我诸多的指导，让我如此想来都禁不住泪水盈眶。

现在说起《环境磁学》这个字眼时，自己心里充满了愧疚之情。08 年时朱老先生曾专门找我谈，说现在关于《环境磁学》方面的英文和中文教材都不尽人意，他想趁他还

有精力想重新编写一本《环境磁学》的教材，他认为最好是英文的，他想让我帮着我来做。我感觉先生说的极是，于是答应说尽力而为，并收集了一些资料给先生。过了一段时间后先生就教材的内容列了一个提纲给我，而我后来由于手边诸多事情，实在是分身乏术，且能力有限，只能向先生说明情况后将此事给放了下来。先生并未因此事而责怪我，相反他说他很理解我目前的状况，教材的事做不成也没问题，等以后有机会会有精力的时候再做吧。实在是没想到，朱老先生竟然会就这么地走了，而关于此书的事情，只能成为我内心永远的愧疚！

其实，到现在自己依然不相信朱老先生真的走了。



还记得那一年我们为他庆祝九十大寿的情景，当时我们实验室送他的礼物是我为他拍摄的照片，那是在他在点评一师兄博士论文答辩时的抓拍照片，他精神抖擞，侃侃而谈的神情跃然于画面之上（下图）——他收到此礼物时很高兴。在参加完朱老先生的大寿回来后，自己当时感触颇深，曾敲过《随感》的文字……

还记得关于写他的那篇文章刊登后，他向我诉说感受时的情景，他不好意思地笑着说，不同于其他的文章，同样真实，但是别具一格……

还记得他每次参加组里 seminar 的情景，九十多岁的人，思维依然很清晰，报告之后总会适时地点评，给予诸多合理的建议；他那宽容平和的心态，使他给年轻人平添了诸多的信心；每每听见他爽朗的笑声，总会不经意地被他所感染……

……

可是现在，朱老先生却走了，真的走了，每周三的 seminar 再也没有了他高挑的身影，再也没有了他总结性的发言和爽朗的笑声，再也没有谁会在遇到我时高兴地拉着我的手问寒问暖……

泪水再次顺腮而下，谨以此文悼念老朱先生！

**勘误：**2009 年第四期专题介绍中的《再论印度与亚洲大陆何时何地发生初始碰撞》原文稿中（p7，第 18 行、第 38 行、44 行、65 行、p8 33-34 行、p10 15-16 行均将参考点的古纬度写成了“参考点（39.3° N, 91.0° E）”或“参考点 39.3° N, 91.0° E”；正确的应该为“参考点（29.3° N, 91.0° E）”或“参考点 29.3° N, 91.0° E”。

特此勘误，对大家带来的不便，表示道歉！

### 编后语

PGL-Letters 期刊为古地磁与年代学实验室季刊，非正式发行，仅供同行业人员内部讨论交流。所刊稿件，内容由作者负责。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)

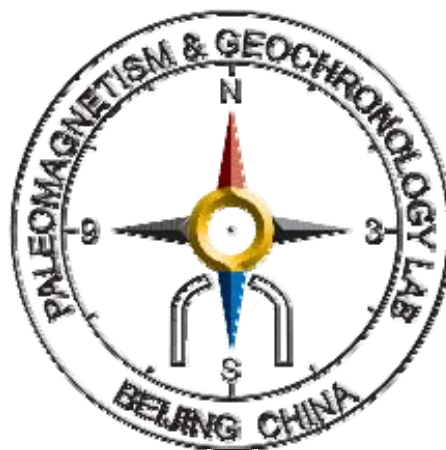
**Seminar 专栏** (包括来访报告者及其报告内容简介等)

**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 张春霞

美工: 张春霞

电话: 010-82998432, 82998426, 82998010

**Email:**

[qsliu@mail.iggcas.ac.cn](mailto:qsliu@mail.iggcas.ac.cn);

[cldeng@mail.iggcas.ac.cn](mailto:cldeng@mail.iggcas.ac.cn)

[cxzhang@mail.iggcas.ac.cn](mailto:cxzhang@mail.iggcas.ac.cn)

实验室网页:

<http://www.paleomag.net>

**PGL-Letters 电子版下载地址:**

<http://www.paleomag.net/members/qingsongliu/PGL-letters>

**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