

---

# 地质地球所研究镁析出的过程得出地核早期演化图景

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/9374.html>

**本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！**

古地磁研究表明，地磁场已经持续运转了至少35亿年，其最早的起源时间甚至可以追溯至42亿年前（Tarduno et al., 2015）。地磁场由地核“发电机”产生，通过地球外核中液态铁的对流驱动。标准模型认为地磁发电机能量源由四部分组成：（1）地核冷却；（2）内外核边界的轻元素释放；（3）放射性元素衰变；（4）地球的进动。但是，第一性原理计算和随后的高温高压实验表明地核的热导率比原来估算的高很多（Pozzo et al., 2012；Ohta et al., 2016）。地核具有高热导率的后果是标准模型中的能量会通过热传导的形式耗散掉，从而没有足够的能量去驱动对流，导致地磁场的能量严重缺失。这一问题被称为“新的地核悖论”（New Core Paradox；Olson, 2013）。

ORourke and Stevenson (2016) 提出从地核中析出的镁可以作为标准模型之外的地核发电机能量源。镁在过去一直被认为是亲石元素，不会进入到地核中，但他们提出通过大撞击能够将大量的镁在地球历史早期挤入地核中。他们认为镁在地核中的溶解度强烈依赖于温度，温度越高，溶解度越大。在这种情况下，镁可以随着大撞击提供的高温大量进入到初始地核中。之后，随着地核的逐渐降温，镁逐渐析出，为地磁场提供能量。这一假说巧妙地将大撞击、核幔分异、岩浆洋演化、地磁起源等地球早期重大事件结合了起来。该假说的核心关键是镁的溶解度是否具有强温度依赖性，以及镁的析出是否能在35亿年前开始为地磁场提供足够的能量。针对这些关键问题，目前仍然有较大的争议（如Badro et al., 2016；Du et al., 2017）。

中国科学院地质与地球物理研究所地球与行星物理重点实验室硕士生刘为一与导师张毅刚研究员等，通过第一性原理分子动力学的计算，获得了大量镁的配分系数数据，并在此基础上研究地球早期的形成演化历史。结果显示镁的配分系数强烈依赖于温度(图1)。根据获得的镁的平衡常数与温度的关系式，结合根据古地磁强度数据建立的地核热演化模型，他们发现镁能够在35亿年前开始析出(图2a)并为地磁场提供足够的能量(图2b)。他们进一步模拟了镁析出产生的磁场随时间的演化，发现其很好地符合了古地磁强度的长期变化趋势。该项研究为地球早期地磁场强度变化提出了新的解释机制，即磁场强度的突然增大然后逐步走低可能代表了镁析出产生磁场的典型特征，随后磁场的再次突然增强可能代表了内核开始形成，地磁场获得了新的能量源。据此，他们建立了早期地核演化图景（图3）。

研究成果发表于国际学术期刊Earth and Planetary Science Letters。研究受中科院先导专项B、国家自然科学基金资助。

[论文链接](#)

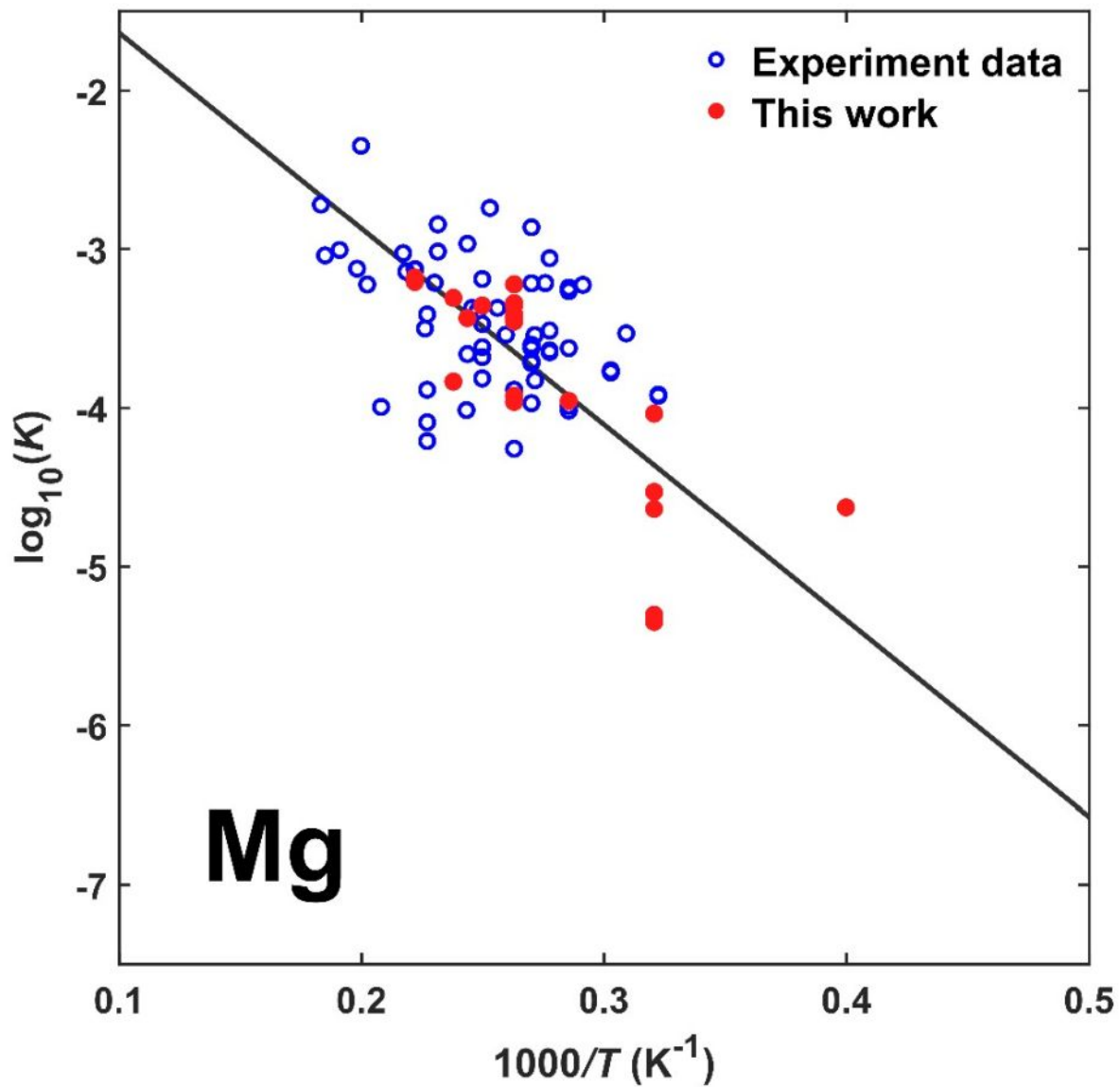


图1

镁的平衡常数与温度关系图。平衡常数由  $MgO^{Sil} = Mg^{Met} + O^{Met}$  确定，其中  $MgO^{Sil}$  代表硅酸盐或氧化物中的  $MgO$ ， $Mg^{Met}$  和  $O^{Met}$  分别代表液态铁中的  $Mg$  和  $O$ 。蓝色圆环代表过去的高温高压实验数据，红色圆点是本次实验得到的数据。黑线是回归得到的镁的平衡常数与温度的关系。高温下，硅酸盐中的  $MgO$  趋向生成  $Mg$  和  $O$  进入液态铁中。

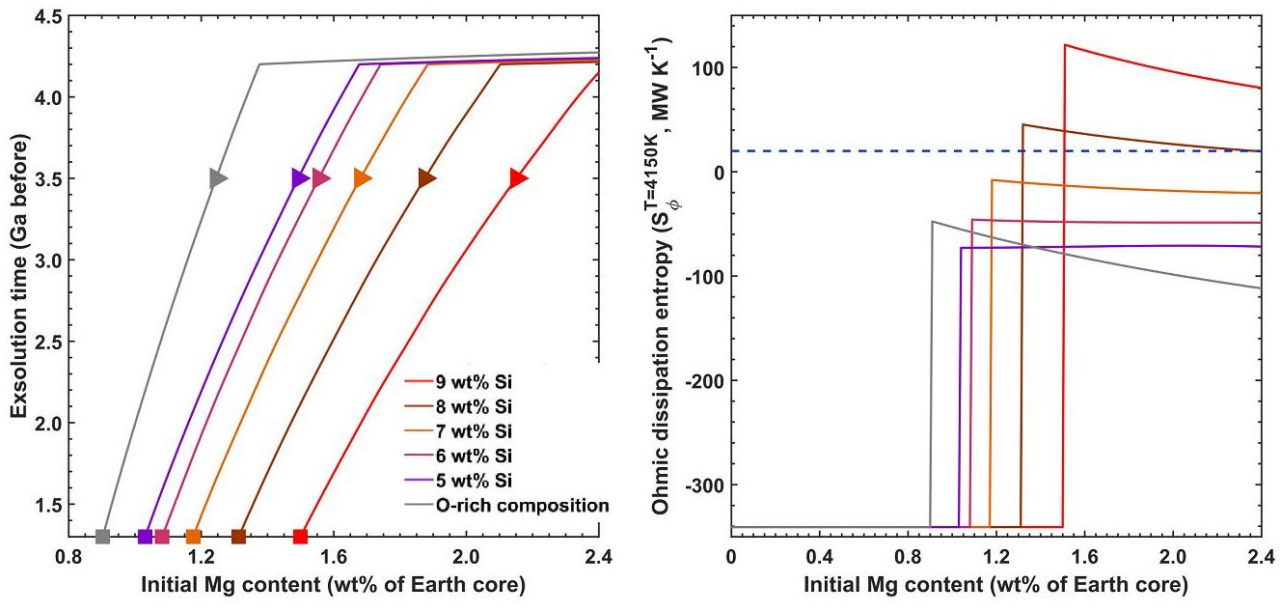
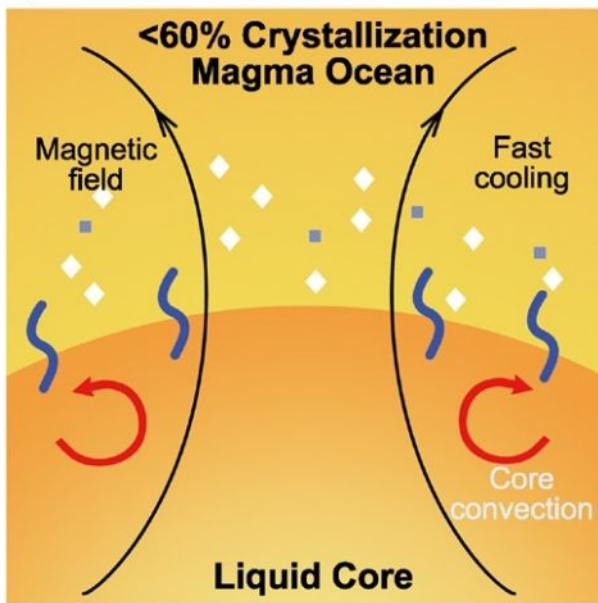
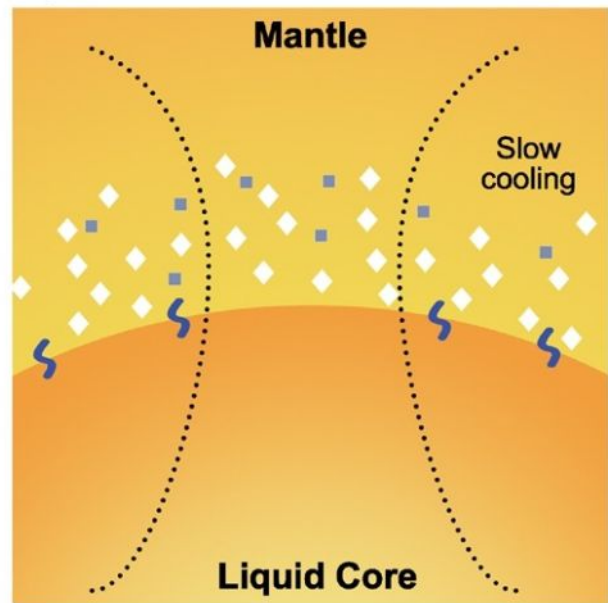


图2 (a) 地核起始镁含量与镁析出时间关系。富氧地核的起始轻元素含量为5 wt% O以及2 wt% Si，其它起始地核轻元素含量由假设氧含量与硅含量具有固定比值2.7来决定。在固定起始地核成分情况下，镁的含量越高镁析出时间越早。三角代表在35亿年前开始析出的情况。方块代表在13亿年前开始析出的情况。(b) 地核起始镁含量与镁析出推动地核发电机所产生的欧姆耗散熵关系。为推动发电机，至少需要20MW/K的欧姆耗散熵，对应图中的蓝色虚线。当起始硅含量大于8 wt%且起始镁含量大于1.8 wt%时，镁可以在35亿年前开始析出，并为地磁场提供足够的能量。大于8 wt%的地核起始硅含量可以由木星土星大回转模型 (Grand Tack) 产生。大于1.8 wt%的地核起始镁含量可以由一个火星大小的撞击挤入起始地核中。

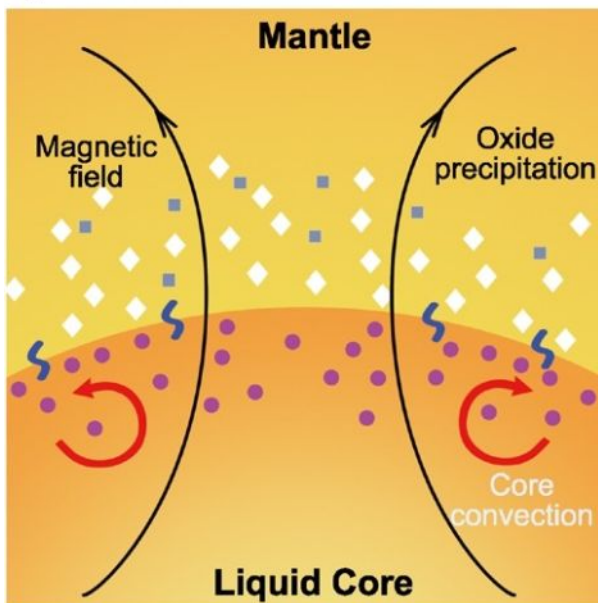
### a) 4.5 Ga - 4.2 Ga



### b) 4.2 Ga - 3.5 Ga



### c) 3.5 Ga - 1.3 Ga



### d) 1.3 Ga - Present

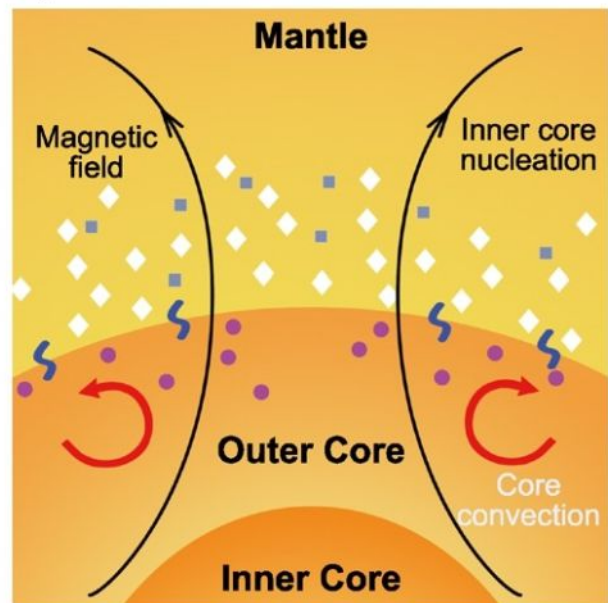


图3 地核早期演化模型。白色菱形为布里奇曼石，蓝色方块代表铁方镁石，紫色圆点代表地核析出物。黑色箭头代表磁场。红色箭头代表地核的对流。蓝色s型曲线代表地核的冷却速率。(a) 地球早期到42亿年，岩浆洋结晶程度小于60%，岩浆洋快速冷却，对应为地核快速降温区间。快速降温释放的热能驱动对流产生磁场。(b) 42到35亿年，岩浆洋结晶程度大于60%，地核开始缓慢降温，可能有较弱磁场。(c) 35到13亿年，以氧化镁为主的硅酸盐或氧化物析出开始，地核磁场重新转强。在之后历史演化过程中，析出速率逐渐降低，地核磁场强度逐渐下降。(d) 最后在13亿年，内核开始形成，地核发电机获得了新的能量源，地核磁场强度再次变强。以上演化步骤与古地核磁场强度演化能够一一对应。

研究团队单位：地质与地球物理研究所

---

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发